



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Auswirkungen hydraulischer Variablen und der Ontogenie auf die
Dynamik der Jungfischdrift an einem Schotterufer der österreichischen
Donau“

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer.nat.)

Verfasserin / Verfasser:	Aaron Lechner
Matrikel-Nummer:	0306949
Studienrichtung /Studienzweig (lt. Studienblatt):	Ökologie
Betreuerin / Betreuer:	Ao. Univ.-Prof. Dr. Hubert Keckeis

Wien, Oktober 2009

Vorwort und Danksagung

**Eventually, all things merge into one, and a river runs through it.
The river was cut by the world's great flood and runs over rocks from the
basement of time. On some of the rocks are timeless raindrops. Under the rocks
are the words, and some of the words are theirs."**

(Norman Maclean, A River Runs Through It)

**„Wenn hinter uns nicht der Teich wär,
käm jede Hilfe zu spät.
Ein Glas auf den Teich und eins auf die See“**

(Element of Crime, An Land)

Die Tatsache, dass ich auf die letzten 1 ½ Jahre als interessanten, lehrreichen Abschnitt zurückblicke, verdanke ich zum Großteil Hubert Keckeis und Elisabeth Schludermann. Danke für die Motivation, die Zeit, die Kritik, und alles andere (ich warte auf die Rechnung, Hubert!). Die Freilandarbeit mit dem australischen Drift- und Bierexperten Paul Humphries wird mir ebenfalls in guter, wenn auch verschwommener, Erinnerung bleiben. „Hasi“ hat auch einmal einen romantischen Abend an der Schotterbank mit mir verbracht und war als Sitznachbar im Aquarienraum meist ansprechbar.

Des Weiteren möchte ich mich bei der Nationalpark Donau-Auen GmbH bedanken. Ohne die Bewilligung des Forschungsvorhabens wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Ich danke meinen Großeltern Hans und Annemarie Lechner und Heidi Schlager für den Zuspruch und die finanzielle Unterstützung.

Ich widme diese Arbeit in großer Liebe Edeltraud, Hannes und Julian.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	5
2	Material und Methodik.....	9
2.1	Untersuchungsgebiet	9
2.2	Probennahme	11
2.3	Probenaufarbeitung	14
2.4	Datenanalyse	18
2.4.1	Datentransformation.....	20
2.4.2	Nullfänge.....	20
2.5	Hydrodynamisches Modell	21
3	Ergebnisse	23
3.1	Hydrologische Messungen	23
3.1.1	Durchfluss und Wassertemperatur	23
3.1.2	Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe.....	24
3.2	Zusammensetzung des Fangs (Taxonomie, Ontogenie)	27
3.3	Driftdichten nach Familien und Entwicklungsstadien	29
3.4	Größenzusammensetzung des Fangs.....	31
3.4.1	Familien.....	31
3.4.2	Entwicklungsstadien.....	32
3.5	Saisonalität der Drift	34
3.6	Temperaturabhängigkeit der Drift.....	39
3.7	Auswirkungen hydrophysikalischer Variablen auf die Drift	42
3.7.1	Durchfluss	42
3.7.2	Wassertiefe	44
3.7.3	Fließgeschwindigkeit	46
3.7.4	Uferentfernung	50
3.7.5	Sohlschubspannung (TAU)	52
3.7.6	Multivariate Analyse	53
3.8	Korrelation der Standardlänge mit den hydrophysikalischen Parametern	54
3.8.1	Durchfluss	54
3.8.2	Fließgeschwindigkeit	54
3.8.3	Uferentfernung	54
4	Diskussion	58
4.1	Saisonalität der Drift	58

4.2	Zusammensetzung des Fangs	59
4.3	Einfluss der hydrophysikalischen Parameter auf die Driftdynamik.....	61
4.3.1	Durchfluss	61
4.3.2	Sohlschubspannung	63
4.3.3	Fließgeschwindigkeit	63
4.3.4	Wassertiefe	64
4.4	Horizontale Verbreitung der driftenden Fische.....	65
4.5	Zusammenhang zwischen Hydraulik und Körpergröße.....	66
4.5.1	Durchfluss	66
4.5.2	Strömung	67
4.5.3	Uferentfernung	67
5	Zusammenfassung.....	68
6	Abstract.....	69
7	Literaturverzeichnis.....	70
8	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	75
9	Anhang	79

1 Einleitung

Fischmigrationen sind ein wesentliches Forschungsgebiet innerhalb der Fischökologie und Gegenstand zahlreicher limnologischer Untersuchungen (Brown & Armstrong 1985, Copp & Faulkner 2002, Gadomski & Barfoot 1998, Humphries 2005, Pavlov 1994, Reichard & Jurajda 2007). Praktisch alle Süßwasserfische haben Migrationsphasen in ihrem Lebenszyklus, die aber in Intensität und Wichtigkeit für die Fitness der einzelnen Arten variieren (Pavlov 1979). Die Richtung dieser Wanderungen, relativ zur herrschenden Strömung, kann sich im Verlauf des Lebens einer Art mehrmals ändern. Auf aktive Laichmigrationen der Adulten flussaufwärts folgen meist passive Bewegungen der Jungfische in die entgegengesetzte Richtung (Pavlov 1994). Diese Massenwanderungen der Embryonen, Larven und Juvenilen von den Laichgründen flussabwärts werden als Drift bezeichnet (Pavlov et al. 1978). Neben der Vermeidung von Prädation und Nahrungskonkurrenz (Humphries 2005) kann die Erschließung neuer Habitate als weiterer Vorteil gewertet werden, den die jungen Entwicklungsstadien aus dem Verlassen des Laichplatzes ziehen (Pavlov 1994). Im Zuge des ontogenetischen Nischenshifts ändern sich die Habitatansprüche der Jungfische hinsichtlich Strömung, Substrat und Nahrungsquellen (Schiemer et al. 1991). Die Verbreitung via Drift ist für Fische in lotischen Systemen ein geeignetes Mittel um an Orte zu gelangen, wo sie Überlebenswahrscheinlichkeit und Energiegewinn maximieren können (Reichard 2002a, Reichard & Jurajda 2007). Man bezeichnet Drift daher auch als erste Nahrungsmigration in der Ontogenese (Oesmann 2003), die die natürliche Verbreitung von Fischpopulationen in fluvialen Ökosystemen sichert (Penaz et al. 1992).

Die Driftaktivität ist artspezifisch und am intensivsten in frühen Perioden der Entwicklung (Pavlov 1994). Auch nicht typische Fließgewässerarten wie der Bitterling (*Rhodeus sereceus*) und der Sonnenbarsch (*Lepomis gibbosus*) zeigen charakteristische Driftmuster (Jurajda 1998, Copp & Cellot 1988). Die Driftaktivität hängt vor allem von den Umweltbedingungen in den Jungfisch- und Laichhabitaten sowie der Ökologie bzw. der individuellen Lebensweise der Art ab (Pavlov 1994). Zu den entscheidenden Umweltfaktoren, die Zeitpunkt und Intensität der Drift steuern und einen Wechsel von einem sesshaften zu einem wandernden Verhalten bewirken können, zählen Durchfluss, Strömung, Wassertemperatur, Turbulenz und Lichtintensität (Pavlov 2008, Reichard 2002b, Zitek 2004b). Während die Wassertemperatur indirekt über ihren Einfluss auf die Laichzeit und Embryonalentwicklung festlegt, wann bestimmte Arten in der Drift auftreten bzw. die höchsten Driftdichten im saisonalen Verlauf erreicht werden, (Johnston et al 1995, Reichard 2001, Brown & Armstrong 1985) ist die Lichtintensi-

tät wahrscheinlich ein entscheidender Faktor für die diurnale Driftrhythmik (Reichard 2002b). Die meisten Individuen driften in der Nacht bzw. im trüben Wasser (Johnston 1997, Copp & Faulkner 2002, Zitek 2004a).

Obwohl einigen Aspekten der Jungfischdrift, wie z.B. der Rolle von Habitatheterogenität (Pavlov 2008) und Illuminationslevel (Reichard et al. 2002a) als steuernde Faktoren von Migrationsphasen, in den letzten Jahren vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt wurde, bleiben viele Fragen diesbezüglich noch unbeantwortet (Schmutz & Jungwirth 1999). Neben den Effekten auf die Populationsdynamik, die sich durch die Verteilung der Jungfische ergeben, sind vor allem die Mechanismen, die Drift auslösen und der Driftmodus für die meisten Arten noch weitgehend unbekannt (Reichard & Jurajda 2007).

Drift könnte ein aktiver Prozess sein, bei dem die Fische aufgrund von stadium-, und artspezifischen verhaltensgesteuerten Antworten auf diverse Umweltfaktoren in die Strömung gehen und diese als Transporthilfe nützen (Reichard & Jurajda 2007, Reichard et al. 2002b). Ein Drifteintritt in der Dunkelheit ist dabei eventuell eine Vermeidungsstrategie, um visuellen Räubern zu entgehen (Persat & Olivier 1995, Gale & Mohr 1978), und das Driften bei hohen Durchflüssen beschleunigt den Transport von den Laichgründen zu den Futterplätzen (Reichard & Jurajda 2004a). Da sich die Reaktionen der Fische auf ihre heterogene Umwelt im Zuge der Ontogenie verändern, wird eine Stadiumsabhängigkeit oft als Hinweis auf eine aktive Komponente in der Drift betrachtet (Pavlov 1994). Andererseits mag Drift zu hohem Anteil passiv sein (Unfalls- bzw. Katastrophendrift). Ein Indiz dafür sind beträchtliche Mortalitätsraten, die bei manchen Driftstudien festgestellt wurden (Robinson et al. 1998, Reichard et al. 2002a).

Da sich junge Teleostei mithilfe visueller Signale orientieren (Pavlov et al. 1968), ist es wahrscheinlich, dass sie bei geringer Illumination (Nacht, zunehmende Wassertrübe) die Orientierung verlieren und Gefahr laufen, in Bereiche hoher Strömung zu geraten (Manteifel et al. 1978, Brown & Armstrong 1985, Pavlov et al. 1978). Andere Studien zeigten, dass Jungfische bei hohen Durchflüssen aus strukturarmen Uferhabitaten ausgewaschen werden (Harvey 1987, Bischoff & Walter 2001). Beides fällt zusammen mit der physikalisch-morphologischen Unfähigkeit der jungen Entwicklungsstadien höheren Strömungsgeschwindigkeiten zu widerstehen (Gadomski & Barfoot 1997). Die verschiedenen verhaltensgesteuerten Reaktionen, die Drift provozieren, da sie den Eintritt der Fische ins offene Wasser bewirken, können als „aktive Elemente“ der passiven Drift angesehen werden (Pavlov 1994). Dazu gehören die Phototaxis, das Füllen der Schwimmblase und andere angeborene Verhaltensweisen, die mit Fressen, Atmen und Verteidigung zu tun haben. Ein stadium-, und artabhängiges Driftmuster

reflektiert daher eventuell auch nur die Anfälligkeit bestimmter Stadien und Arten, von der Strömung erfasst zu werden (Reichard & Jurajda 2007).

Um eine bessere Verlinkung von Ontogenie und Driftaktivität bzw. fundiertere Erklärungsmodelle hinsichtlich der Driftmodi einzelner Arten und Stadien erstellen zu können, sollte der Schwerpunkt künftiger Studien daher neben morphologischen Untersuchungen primär auf Verhalten und Ökologie der Fische liegen (Reichard & Jurajda 2007).

Aufgrund der sensiblen ökologischen Anforderungen die 0+-Fische an ihren Lebensraum stellen, sind sie gute Indikatoren für die ökologische Integrität großer Flüsse (Schiemer et al. 2003). Für ein erfolgreiches Aufwachsen der Fischbrut spielen in erster Linie strukturelle Elemente des Ufers eine wichtige Rolle (Schiemer et al. 2001). In der larvalen Phase sind alle Arten an geschützte Buchten entlang des Ufers gebunden, wo die Strömung trotz Fluktuationen des Wasserstandes gering ist (Schiemer et al. 1991). Vor allem die rheophile Gilde, welche die größte Gruppe in der Donau darstellt, ist auf eine longitudinale Integrität (Laichwanderungen, Larvendrift) und eine laterale Konnektivität (Reproduktionshabitate, Refugien bei Flut) angewiesen (Schiemer 1999). Durch Änderungen der Habitatstruktur und des natürlichen hydrologischen Regimes infolge von Regulierungsmaßnahmen sind die Umweltbedingungen für eine erfolgreiche Reproduktion und das Heranwachsen der Larven zu Juvenilen oft nicht mehr gegeben, was sich auch in der Dynamik der Fischwanderungen widerspiegelt (Humphries & Lake 2000).

So haben Untersuchungen an der österreichischen Donau gezeigt, dass sich die optimalen Wassertemperaturen für einzelne Entwicklungsstadien der Nase (*Chondrostoma nasus*) gut mit dem herrschenden Temperaturregime in strömungsberuhigten Buchten des Ufers decken und ein Verlust dieser Habitate durch Verbauungsmaßnahmen zu starken Änderungen der individuellen Wachstumsraten und einem vermehrten Transport der Fische flussabwärts führt (Keckeis et al. 2001).

Vor dem Hintergrund einer fortschreitenden Intensivierung von Landnutzung und Industrie und der einhergehenden Beeinträchtigung großer Flusssysteme sollten Driftstudien daher verstärkt in Managementkonzepte integriert werden, die sich mit der Renaturierung und Regenerierung von Fließgewässern - Fischzönosen befassen.

Ziel dieser Arbeit war die saisonale Aufnahme der Jungfischdrift an einem naturnahen Schotterufer der österreichischen Donau. Driftstudien wurden bisher in einem Seitenarm der Donau (Marchfeldkanal, Zitek 2004a+b), aber noch nie im Hauptstrom selbst durchgeführt. Neben

der Driftdynamik unterschiedlicher Familien waren vor allem stadienspezifische Muster im Perciden- und Cyprinidendrift Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Eine Korrelation der erhobenen Driftdichten mit den Umweltfaktoren Fließgeschwindigkeit, Durchfluss und Wassertiefe sollte Effekte der Hydraulik auf das Driftverhalten zeigen. Die räumliche Verschneidung der Driftdaten mit einem hydrodynamischen Modell des Untersuchungsgebietes sollte eine graphische Darstellung des Driftgeschehens ermöglichen und Informationen über den Effekt von Sohlschubspannung und Strömungsstruktur liefern. Um zu prüfen ob sich die Schwimmleistung der Individuen in spezifischen Driftmustern niederschlägt (passive Auswaschung kleiner Larven bei hohen Strömungen und Durchflüssen, Driftvermeidung bei größeren Individuen), wurden auch die Körperlängen der gefangenen Fische vermessen und mit den erwähnten Umweltfaktoren korreliert.

Studien von Pavlov an der Wolga (1978) und Reichard an der Morawa (2004b) zeigten einen lateralen Gradienten hinsichtlich der Verteilung des driftenden Ichthyoplanktons, wobei die Gesamtzahl driftender Fische mit der Uferentfernung ab-, der Entwicklungszustand der Individuen jedoch zunahm. Die Präsenz bzw. Absenz eines generellen räumlichen Musters sollte in dieser Arbeit auch für die Uferzone der österreichischen Donau geklärt werden.

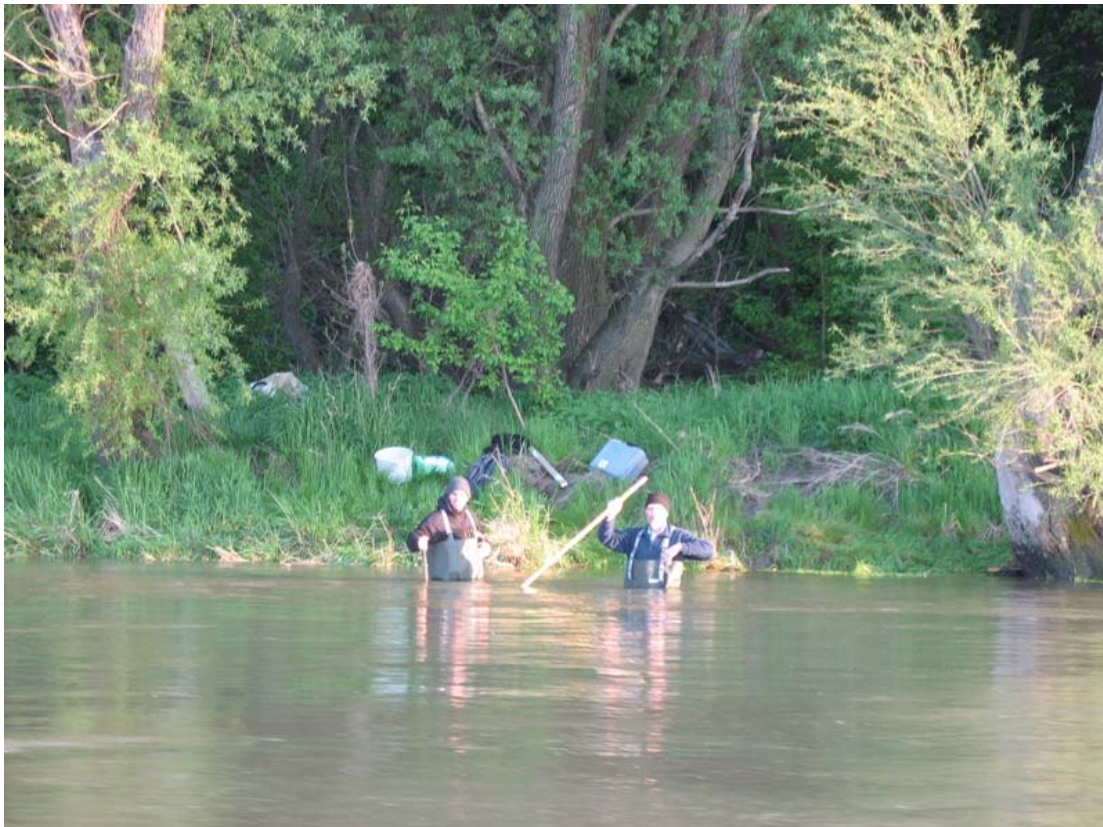


Abbildung 1: Probennahme bei erhöhtem Wasserstand mit dem Gastprofessor Paul Humphries (Charles Sturt University, Albury, Australia).

2 Material und Methodik

2.1 Untersuchungsgebiet

Die Donau ist mit einer Länge von 2850 km und einem Durchfluss von $6450 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ an der Mündung der zweitgrößte Fluss Europas und der größte Fluss Österreichs. Sie entspringt in Deutschland und mündet in einem fünfarmigen Delta im schwarzen Meer.

Aufgrund der West-Ost-Fließrichtung ist die Donau nicht nur ein wichtiger Handelsweg, sondern weist als Biokorridor auch eine hohe Artendiversität auf (60 Fischarten, davon 52 autochthone), zu welcher Faunenelemente aus den hochalpinen Regionen im Westen und den pontokaspischen zentralasiatischen Gebieten im Osten beitragen (Schiemer & Waidbacher 1998). Die etwa 350 km lange Fließstrecke in Österreich (Stromkilometer 2223,15 bis 1872,70) ist nach der geomorphologischen Fließgewässerzonierung dem Hyporithral zuzuordnen, welches durch einen hohen Geschiebetrieb, hohe Strömungsgeschwindigkeiten im Hauptkanal und ein durchschnittliches Gefälle von 40cm km^{-1} gekennzeichnet ist. Die Fläche des Einzugsgebietes macht mit 80.000 km^2 rund 96% des österreichischen Staatsgebietes aus, und die Einmündung vieler alpiner Flüsse verleiht dem Abflussregime der Donau Ausprägungen eines Hochgebirgsflusses mit höchsten Durchflüssen im Juni und niedrigsten im November. Die Hochwasserwahrscheinlichkeit ist zu Zeiten der Schneeschmelze (März, April) am größten. Die mittlere Wasserführung an der deutschen Grenze ist mit ca. $1430 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, an der slowakischen Grenze mit $2020 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ angegeben. Eine genaue hydrologische Charakterisierung der österreichischen Donau findet man in Liepolt (1967).

Auf den 350 km, die sich die Donau durch Österreich bewegt, wird sie mit insgesamt 10 Wasserkraftwerken energiewirtschaftlich genutzt. Diese und andere Regulierungsmaßnahmen haben seit der Mitte des 19. Jahrhunderts den Charakter des Flusses stark verändert. Ursprünglich war das Bild der Donau nahe Wien, bedingt durch die dynamische Hydrologie und den hohen Sedimenttransport, geprägt von großen Schotterbänken, Aufzweigungen und weitläufigen Überschwemmungsflächen. Heute dominieren befestigte Ufer, Wehre, Dämme, Staustufen, Kanäle und ein der Schifffahrt angepasster kanalisierter Abfluss. Es gibt lediglich noch zwei Flussabschnitte, an denen die Donau ohne Stauwirkung fließen kann. Einer davon liegt zwischen Wien und der slowakischen Grenze. Die 50 km lange Fließstrecke wurde wegen ihrer großen Auegebiete im Jahre 1996 als Nationalpark ausgewiesen.

Alle Untersuchungen zu dieser Arbeit fanden in diesem frei fließenden Abschnitt an einer Schotterbank statt, die zwischen Stromkilometer 1856,5 und 1854,5 am orografisch rechten Ufer des Hauptstroms liegt. Der Fluss ist an dieser Stelle etwa 300 m breit und die durchschnittliche Wassertiefe bei Mittelwasser beträgt ca. 2 m. Die Schotterbank ist ca. 150 m lang

und lässt sich als flaches Schotterufer beschreiben, das einerseits vom Fluss und andererseits von krautiger und verholzter Auwaldvegetation begrenzt wird. Das Schotterufer selbst war weitgehend vegetationsfrei. Im unteren Abschnitt traten vereinzelte Graspolster und kleine Pionierbaumarten auf (*Carex*, *Alnus*). Entlang der ganzen Strecke neigten sich Äste und Zweige aus dem angrenzenden Auwald über die Schotterfläche. Umgefallene Bäume, die aus dem Wald heraus ans Ufer reichten, stellten vor allem bei höheren Wasserständen wichtige Strukturgeber dar, an denen sich anderes Totholz und mitgeführtes Material anlagerte und strömungsberuhigte Refugialräume für Jungfische entstanden.

Bezug nehmend auf die Klassifizierung nach Moog et al. (1999) sind als vorherrschende Sedimentklassen Mesolithal (Durchmesser 6-20 cm), Mikrolithal (2,0-6,3 cm) und Akal (0,2-2 cm) zu nennen. Der Anteil an Makrolithal (20-40 cm) wird auf weniger als 5 % geschätzt



Abbildung 2: Oberes Ende des Schotterufers (links) und Totalansicht (rechts).

Am flussaufwärts gelegenen Ende schloss eine strömungsberuhigte Bucht an die Schotterfläche an, deren Ufer mit Blockwerk befestigt war. Elektrobefischungen im Jahre 2006/2007 wiesen die Bucht als potentiell Laichhabitat für Fische des Hauptstroms aus (FBGP via donau, Teil Abiotik: Naturversuch Bad Deutsch Altenburg).

Am unteren Ende des Ufers verbreitete sich die Schotterfläche und reichte vom Hauptstrom bis zum ca. 40 m landeinwärts gelegenen Johler - Seitenarm. Zu einer Anbindung des Johlerarms kommt es etwa 105 Tage im Jahr (29% des Jahres) ab einem Durchfluss von $2350 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ und einem Pegel von 138,7 m (Messstation Hainburg) (Quelle: Abiotik-Bericht, Flussbauliches Gesamtprojekt).

Das Schotterufer ist durch den Schiffsverkehr stark wellenexponiert. Abhängig von der Fahrtrichtung und dem Typ des passierenden Schiffes treffen Wellen mit einer Höhe von bis zu einem halben Meter auf die Schotterfläche und führen zu Umlagerungen des Sediments.

2.2 Probennahme

Die Probennahmen erfolgten wöchentlich im Zeitraum von Ende April bis Ende Juni im Jahr 2008 (17., 22., 29. April, 6., 13., 20., 27. Mai, 3., 10., 17., 24. Juni). Insgesamt wurden an 11 Tagen je 25 Driftproben genommen. In den sechs Driftproben, die am 17. April im Zuge eines Geräte- und Materialtests genommen wurden, befanden sich keine Fischlarven, was darauf hindeutet, dass sich der Beginn von Driftsaison und Probennahme etwa (± 5 Tage) zeitlich deckte.

Für die Positionierung der Driftnetze wurde ein randomisiertes Block - Design gewählt. Die Schotterbank wurde in 6 Abschnitte (Regionen) zu je 30 Metern unterteilt (Abb. 3). Innerhalb der Abschnitte wurden an jedem Probetermin 5 Netze zufällig gesetzt. So konnte eine longitudinal und lateral randomisierte Exposition sichergestellt werden.

Hierfür kam ein „Random Number Table“ zum Einsatz; eine vom Computerprogramm Excel erstellte Tabelle mit 9 Spalten und 51 Zeilen, in der willkürlich Zahlen von 1 bis 30 eingetragen waren. Die Position eines Driftnetzes ergab sich aus der Kombination von zwei Zahlen aus der Tabelle. Die erste Zahl bestimmte die Distanz (in Schritten) von der oberen Abschnittsgrenze flussabwärts entlang der Wasseranschlagslinie. Die zweite Zahl gab die Entfernung des Netzes vom Ufer an; also die Anzahl von Schritten, die auf einer gedachten, zur Wasseranschlagslinie normal stehenden Geraden Richtung Flussmitte zurückgelegt wurden. Begonnen wurde mit der Zahl in der linken oberen Ecke der Tabelle, und jener, die in derselben Zeile zwei Spalten weiter rechts stand. Ergaben sich Zahlenkombinationen, die aufgrund der Wasserführung oder der Abschnittsgröße nicht in Driftnetzpositionen umgelegt werden konnten, wurde die maximal mögliche Schrittzahl gewählt.

Zur Markierung der Abschnitte wurden neongelbe Klebebandstreifen, die auch nachts gut sichtbar waren, an großen Steinen oder verholzter Ufervegetation befestigt. Abschnitt 1 begann unmittelbar flussabwärts der strömungsberuhigten Bucht, und Abschnitt 6 endete auf Höhe jener Schotterfläche, die bei erhöhtem Wasserstand den Hauptfluss mit dem Johler - Arm verbindet. Der Verlust eines Driftnetzes bei starkem Wellengang am 22. April hatte aber zur Folge, dass bei den verbleibenden Probenahmen nur fünf Abschnitte besammelt werden konnten. Aufgrund der Strömungsverhältnisse und der großen Wassertiefe in Abschnitt 1, die

ein Setzen der Netze erschwerten, wurde dieser Bereich von künftigen Untersuchungen ausgeschlossen.

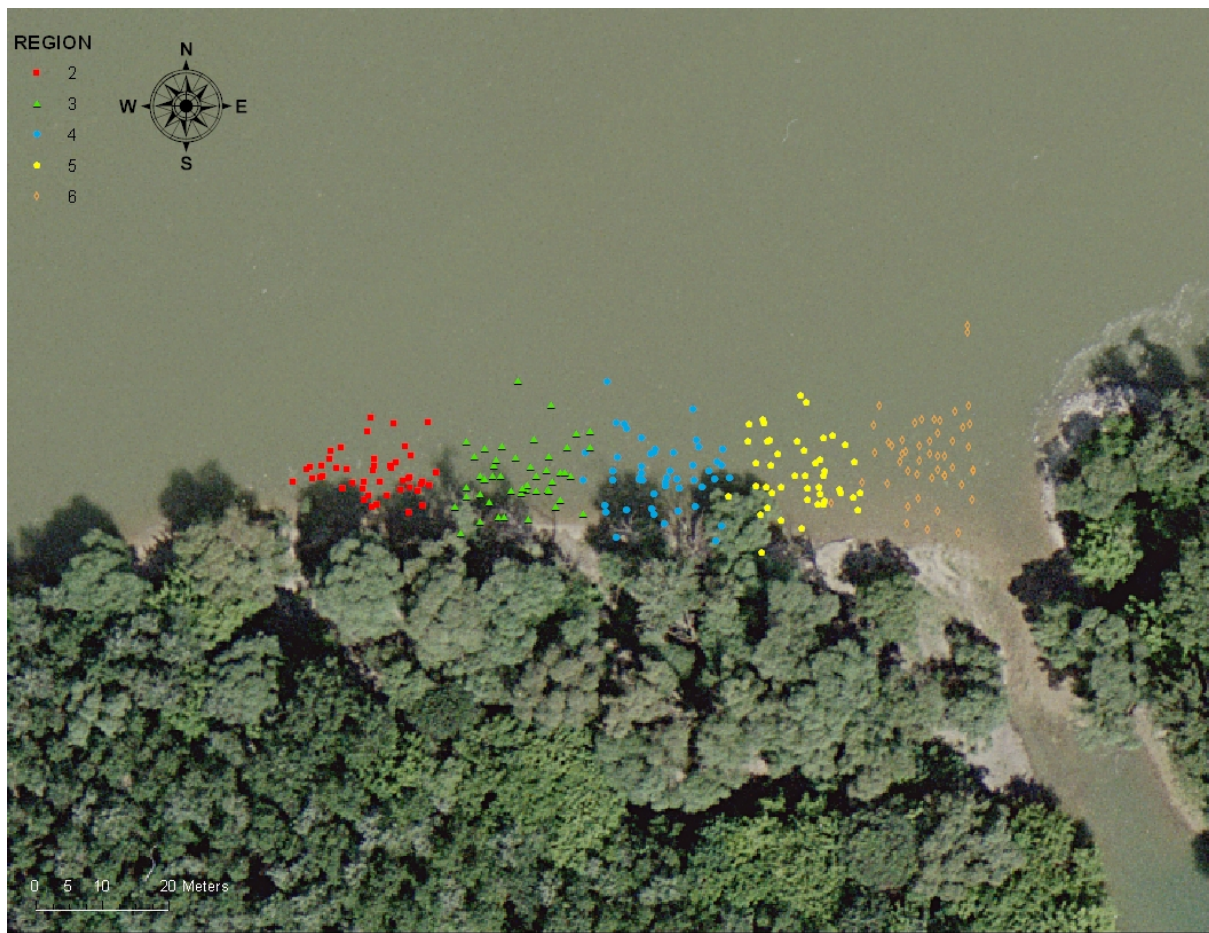


Abbildung 3: Orthophoto des Schotterufers. Die Positionen der Driftnetze wurden je nach Region, in der sie lagen, unterschiedlich gefärbt.

Die konisch geformten Driftnetze waren 1,5 Meter lang und hatten eine kreisrunde Öffnung mit einem Durchmesser von 0,5 Meter ($0,78 \text{ m}^2$). Die Öffnung am Ende des Netzes hatte einen Durchmesser von 90 mm. Hier war ein Plastikring mit Gewinde eingelassen, auf den sich ein zylindrisches Plastikgefäß aufschrauben ließ. In diesen Gefäßen sammelten sich Fische, Blattwerk, Geäst und je nach Durchfluss und Schiffsverkehr mehr oder weniger feines Donausediment. Die Maschenweite der Netze betrug $500 \text{ }\mu\text{m}$.

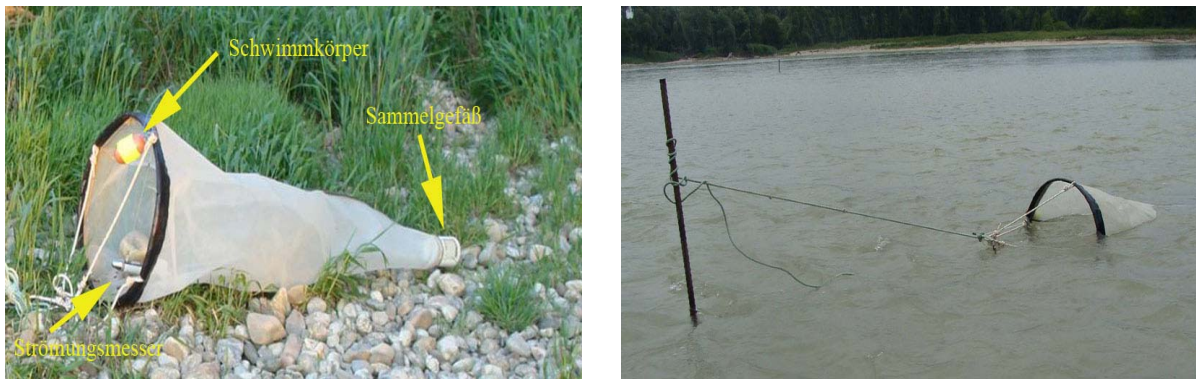


Abbildung 4: Driftnetz am Ufer (links) und während der Probennahme an Stahlstange fixiert (rechts).

Die Menge an filtriertem Wasser wurde mit einem Strömungsmessgerät (General Oceanics Mechanical Flowmeter Model 2030R) bestimmt, das mit Plastikleinen am Metallring der Netzöffnung montiert war und sich im unteren Drittel der Öffnung befand. An diesem Metallring hing auch ein kleiner, mit gelbem Klebeband markierter Schwimmkörper, der es erleichterte, die gesetzten Netze in der Dunkelheit wieder zu finden.

Hohe Strömungsgeschwindigkeiten und Durchflüsse der Donau erforderten eine stabile Befestigung der Driftnetze. Die Netze waren einerseits mit dicken Seilen an ins Sediment geschlagene Stahlstangen gebunden, zur zusätzlichen Sicherung bei starkem Schiffsverkehr und hohen Durchflüssen führten lange, reißfeste Schnüre von den Metallringen der Netzöffnungen zu stabilen Strukturen am Ufer (vorwiegend dicke Äste und Stämme der Ufervegetation).

An Stellen, an denen die Wassertiefe die Netzhöhe überstieg, wurden die Netze so an den Stangen fixiert, dass nur die Schwimmkörper an der Wasseroberfläche sichtbar waren; die Netze also exakt die obersten 50 cm der Wassersäule abdeckten. In Ufernähe, wo die Netze dem Sediment aufsaßen, sollte der Ring der Netzöffnung möglichst senkrecht stehen um Stabilität und einwandfreies Funktionieren des Durchflussmessgerätes zu gewährleisten.

Das Setzen der Driftnetze begann mit Sonnenuntergang, da aus der Literatur bekannt ist, dass die Larven mit dem Einsetzen der Dunkelheit zu driften beginnen (Pavlov et al. 1978, Jurajda 1998). Je nach Probetermin wurde also zwischen 19.30 Uhr und 20.15 Uhr in jeder Region ein Netz positioniert. Die exakte Position der Netze wurde mit einem dGPS Gerät (Leica GS 20) eingemessen, wiewohl auch die Wasserlinie des gesamten Schotterufers zu Beginn jeder Probenahme georeferenziert wurde. Die Netze blieben eine halbe Stunde im Wasser. Nach Ablauf der Zeit wurden sie von den Metallstangen gelöst und im seichten Uferwasser gründlich gespült, um den Inhalt in die Sammelgefäße zu waschen. Das gesamte Material in den Sammelgefäßen wurde sofort in Probeflaschen überführt und mit 95% Ethanol aufgegossen. Die weitere Analyse der Proben erfolgte im Labor der Universität Wien. Mit dem „Random

Number Table“ wurde die neue Position des Netzes innerhalb der Region bestimmt. Bei jedem Versetzen der Netze wurde an den neuen Standorten die Wassertiefe gemessen und die aktuelle Anzeige des Strömungsmessgerätes in ein Protokoll (Tab. 22) übertragen. Die Durchflusswerte für die Donau stammen von der hydrometeorologischen Messstation Hainburg der via donau, die dem Untersuchungsgebiet am nächsten liegt.

Tabelle 1: Durchfluss, Probenanzahl und Probezeitraum aller Probetermine.

Datum	Durchfluss (Q)	Probennahme (Zeit)	Probenanzahl (n)
17. Apr 08	1931	1800-1900	6
22. Apr 08	2209	1916-2241	27
29. Apr 08	2424	1928-2256	25
06. Mai 08	2253	1952-2257	25
13. Mai 08	2233	2001-2308	25
20. Mai 08	2740	1916-2221	25
27. Mai 08	2344	2008-2324	25
03. Jun 08	2470	1924-2231	25
10. Jun 08	2478	2017-2321	25
17. Jun 08	1885	1945-2241	25
24. Jun 08	2026	1912-2213	25
Gesamt			258

2.3 Probenaufarbeitung

Da bei der Probennahme nicht nur die Fische, sondern auch Schweb- und Schwimmstoffe gefiltert wurden, mussten die Proben im Labor aufgearbeitet werden. Nach dem Auswaschen der Proben durch ein Sieb (1000µm), wurden die Fische mit einer Federpinzette vom restlichen organischen und anorganischen Material getrennt und in etikettierte Glasphiolen mit 95% Ethanol überführt und konserviert. Auf den Etiketten war das Datum der Probennahme, der Code des beprobten Abschnittes (Region 2-6, Sample 1-5) und die Anzahl der gefangenen Fische vermerkt.

Vor weiterführenden Analysen der Fänge unter dem Binokular wurden fischreiche Proben durch das Ziehen von Stichproben auf eine Anzahl von 30 Individuen reduziert. Dabei kam eine Petrischale aus Glas zum Einsatz, deren Boden mit einem Marker in 8 gleich große Segmente unterteilt war. Nach dem Entleeren der Probe in die Petrischale wurde diese so lange geschwenkt, bis die Fische darin optisch gleichmäßig verteilt waren. Dann wurde zufällig eines der Segmente ausgewählt und die darin befindlichen Fische unter das Binokular überführt. Da es sich nie ergab, dass exakt 30 Fische auf einem Segment zu liegen kamen, musste meist noch ein zweites bzw. drittes Segment gewählt werden, aus denen die fehlende Anzahl an Individuen, wieder zufällig, ergänzt wurde.

Um bei Driftproben, in denen Gobiiden dominant vertreten waren (bis zu 95% des Gesamtfangs), eine Unterrepräsentation der anderen Familien zu vermeiden, wurden diese exkludiert und eine separate Stichprobe ($n=30$) aus der Masse der Gobiiden gezogen.

Die Standardlängen (SL, Länge von der Schnauzenspitze bis zum Ende des Notochords) sämtlicher Fische der Probe bzw. der Stichprobe wurden mit einer Schiebelehre auf 0,1 mm genau vermessen. Mögliche Ungenauigkeiten beim Vermessen, die sich aufgrund einer Deformation der Fische - verursacht durch das Einlegen in Alkohol und das Bearbeiten mit der Pinzette - ergeben können, wurden nicht berücksichtigt.

Alle gefangenen Fische wurden auf die Familie und das Entwicklungsstadium bestimmt.

Die Bestimmung der Entwicklungsstadien erfolgte nach Penaz (1974 und 2001). Man unterscheidet neun Embryonal-, sechs Larven-, und zwei Juvenilstadien. Die Grenze zwischen der embryonalen Periode und der larvalen Periode ist gekennzeichnet durch den Übergang von endogener zu exogener Nahrungsaufnahme. Damit verbunden sind bestimmte morphologische Eigenschaften der Fische, wie die Ausbildung einer perforierten Maulspalte und einer Analöffnung. Die Grenze zwischen der larvalen und der juvenilen Periode kann nach Penaz (2001) dort angenommen werden, wo alle provisorischen embryonalen und larvalen Strukturen entfernt und gleichzeitig schon adulte Strukturen ausgebildet sind.

Wichtige Merkmale bei der Zuordnung zu einem Entwicklungsstadium waren daher unter anderem: Reste des Dottersacks, Form und Entwicklungszustand des Flossensaums und der Flossen, die Ausrichtung des Notochords und die Beschuppung. In den Driftproben waren Fische vom achten Embryonalstadium (die meisten Arten schlüpfen als E8 bzw. E9) bis zum zweiten Juvenilstadium enthalten. Da zum Zeitpunkt der Untersuchungen kein Larvenbestimmungsschlüssel für Cottiden vorlag, konnten sie keinem Entwicklungsstadium zugeordnet werden. Perciden und Cypriniden weisen, vor allem in den späteren Entwicklungsstadien, eine deutlich unterschiedliche Morphometrie auf (massiver Kopf und langer Schwanzstiel bei den Perciden). Bei Embryonen und frühen Larvenstadien dieser beiden Familien ist die Lage des Anus ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal. Er befindet sich bei den Cypriniden in der posterioren, bei Perciden in der anterioren Körperhälfte. So fern noch ein Dottersack oder Reste desselben vorhanden sind, ist dieser bei den barschartigen relativ groß und unter dem Binokular gut zu erkennen (Abb. 7). Die Gobiiden waren in den Proben leicht zu identifizieren, da sie nach Balon (1986) zu den Fischarten mit einer direkten Entwicklung zählen, das bedeutet, dass sie kein Larvenstadium durchlaufen, sondern von der embryonalen Phase direkt in die juvenile Phase übergehen und in allen äußeren Merkmalen den adulten Individuen gleichen. Bei den vier Gobiiden-Arten, die in der Donau vorkommen, handelt es sich um *Prote-*

rorhinus marmoratus, *Neogobius kessleri*, *Neogobius melanostomus* und *Neogobius gymnotrachelus*. Die Cottiden haben einen ähnlichen Habitus wie die Gobiiden. Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal sind die brustständigen Bauchflossen, die bei den Meergrundeln zu einer Saugscheibe verwachsen sind und bei den Koppen getrennt vorliegen.








 <p>Cyprinidae</p>	<p>Anus liegt in anteriorer Körperhälfte, keine Zähne auf Ober- und Unterkiefer, eine Rückenflosse.</p>
 <p>Percidae</p>	<p>Zwei Rückenflossen, Anus liegt in der posterioren Körperhälfte, Kopf in Aufsicht leicht keilförmig, Bezahnte Kiefer ab L3.</p>
 <p>Siluridae</p>	<p>Breite Maulspalte, die zwei Barteln oberhalb des Maules reichen bis zur Pectoralis zurück, ausgeprägter Flossensaum ober- und unterhalb des Rumpfes.</p>
 <p>Gobiidae</p>	<p>Körper keulenförmig, zwei Rückenflossen, Bauchflossen zu einer Saugscheibe verwachsen.</p>
 <p>Cottidae</p>	<p>Kopf dorso-ventral abgeflacht, Pectoralis bereits in frühen Stadien groß und segelförmig ausgebildet, Bauchflossen nicht verwachsen.</p>
 <p>Esocidae</p>	<p>Entenschnabelförmiges Maul bereits leicht ausgebildet, Anlagen der Dorsalis schon sichtbar und weit hinten am Rumpf.</p>
 <p>Gasterosteidae</p>	<p>Erste Rückenflosse mit 3-9 Stacheln, keine Schuppen, Knochenschilder an den Körperseiten.</p>

Abbildung 5: Sämtliche in der Drift vertretene Familien mit den wichtigsten Bestimmungsmerkmalen.









 <p>L1</p>	<p>Start der exogenen Nahrungsaufnahme, Reste des Dottersacks sind noch vorhanden, Notochord gerade, die anteriore Kammer der Schwimmblase ist mit Luft gefüllt. Größe: 7,8 mm.</p>
 <p>L2</p>	<p>Dottersack vollkommen aufgebraucht, Mesenchymansammlung im kaudalen Flossensaum. Größe: 10,1 mm</p>
 <p>L3</p>	<p>Das posteriore Ende des Notochords ist leicht nach oben gebogen, erste Strahlen in der Caudalis, die posteriore Kammer der Schwimmblase ist mit Luft gefüllt. Größe: 12,7 mm</p>
 <p>L4</p>	<p>Das Ende des Notochords ist stark nach oben gebogen, Anlagen der Ventralis sind sichtbar, Caudalis leicht eingeschnitten. Größe: 12,9 mm</p>
 <p>L5</p>	<p>Strahlen in Dorsalis und Analis, Caudalis tief eingeschnitten und homozerkal. Größe: 13,6 mm</p>
 <p>L6</p>	<p>Strahlen in alle Flossen ausgebildet, Pectoralis abgerundet, Ventralis reicht über die Reste des präanal Flossensaums hinaus. Größe: 15,2 mm</p>
 <p>J1</p>	<p>Schuppen entwickeln sich auf der Körperoberfläche, die Ventral- und Pectoralflossen bekommen eine längliche Form, keine Reste des Flossensaums mehr vorhanden. Größe: 17,0 mm</p>
 <p>J2</p>	<p>Beschuppung auf der ganzen Körperoberfläche, endgültige Körperform und Farbe sind erreicht. Größe: 22,4 mm</p>

Abbildung 6: Die sechs larvalen und zwei juvenilen Stadien der Cypriniden mit Anführung der wichtigsten morphologischen Merkmale nach Penaz (2001). Junge Stadien sind stärker vergrößert dargestellt als ältere.







 <p>L1</p>	<p>Reste des Dottersacks mit eingelagerten Öltröpfen, Rudimente der Schwimmblase erscheinen, Notochord gerade. Größe: 6,8 mm</p>
 <p>L2</p>	<p>Die Öltröpfchen sind aufgebraucht, Mesenchymansammlung im kaudalen Flossensaum, diphzyerkale Schwanzflosse, gegen Ende des L2-Stadiums füllt sich die Schwimmblase. Größe: 10,0 mm</p>
 <p>L4</p>	<p>Es sind schon Zähne im Kiefer ausgebildet, Caudalis zweigeteilt mit kleinem oberen Lappen und verknöcherten Strahlen im unteren Lappen, die fahnenartig nach hinten zeigen. Größe: 11,4 mm</p>
 <p>L6</p>	<p>Flossenstrahlen in der ersten und zweiten Dorsalis sind ausgebildet, die anteriore Dorsalflosse ist bereits gut entwickelt. Größe: 17,3 mm</p>
 <p>J1</p>	<p>Schuppen entwickeln sich auf der Körperoberfläche, die Riechgruben sind durch das nasale Septum getrennt, endgültige Maulstellung ist erreicht. Größe: 16,7 mm</p>
 <p>J2</p>	<p>Der Seitenlinienkanal beginnt sich zu schließen, endgültige Körperform und Farbe sind erreicht. Größe: 34,2 mm</p>

Abbildung 7: Einige Entwicklungsstadien der Perciden mit Anführung der wichtigsten morphologischen Merkmale nach Penaz (2001). Die stark beschädigten Individuen des dritten und fünften Larvenstadiums sind nicht abgebildet.

2.4 Datenanalyse

Als Maß für die Abundanz driftender Fische kann die Driftrate (Anzahl der gefangenen Individuen pro Zeiteinheit) oder die Driftdichte (Anzahl der gefangenen Individuen pro Volumeneinheit gefiltertem Wasser) herangezogen werden. Da die Beeinflussung der Driftrate durch die herrschenden Fließgeschwindigkeiten einen Vergleich zwischen Probestellen erschwert, ist die weniger strömungsabhängige Driftdichte als quantifizierende Variable der Drift zu bevorzugen (Faulkner & Copp 2001). In dieser Arbeit wird die Driftdichte in Individuen pro 100 m³ Wasser angegeben. Man berechnet sie, indem man die Anzahl der gefangenen Fische mit 100 multipliziert und den erhaltenen Wert durch das gefilterte Wasservolumen dividiert. Zuerst wurde die Gesamtdriftdichte für jeden Fang (also pro Netz) berechnet. Dann wurde der

Gesamtfang mittels einer Pivot-Tabellenfunktion in Individuenzahl pro Familie und Entwicklungsstadium (für Cypriniden und Perciden) aufgetrennt, sodass auch für die einzelnen Kategorien (z.B. CL1, PL1) eine Berechnung der Driftdichte möglich war. Bei Proben mit bis zu 30 gefangenen Fischen wurden dafür die Individuenzahlen der einzelnen Kategorien mit 100 multipliziert und durch das Wasservolumen dividiert. Bei Fängen von denen Stichproben gezogen wurden, musste vor der Berechnung der Driftdichte mit folgender Formel auf den Totalfang hochgerechnet werden:

$$\text{Ind}_{\text{tot}} = (\text{Ind}_{\text{sub}} / \text{Sub}) * \text{Tot}$$

Ind_{sub} = Individuenanzahl in der Stichprobe

Sub = Stichprobenumfang

Tot = Gesamtfang

Aus jenen Proben, in denen die Gobiiden dominant vertreten waren, wurden alle anderen Arten exkludiert und die Zahlen direkt zur Berechnung der Driftdichten der Familien und Entwicklungsstadien herangezogen. Bei der Hochrechnung der separat gezogenen Gobiiden-Stichprobe mussten die zuvor ausgezählten Cypriniden, Perciden und Cottiden vom Gesamtfang abgezogen werden.

Da sich diese Arbeit unter anderem mit dem räumlichen Muster der Fischdrift und den zugrunde liegenden hydraulischen Faktoren befasst, sollten jegliche Auswirkungen der Reproduktionssaisonalität auf die Driftdynamik vor der Auswertung reduziert werden. Es wäre sonst nur schwer detektierbar, ob hohe Driftdichten an einem bestimmten Probetermin auf die herrschenden abiotischen Verhältnisse an diesem Tag oder auf ein vorangegangenes Laichereignis zurückzuführen sind. Aus diesem Grund wurde versucht, Kurven an die Gesamtdrift und die Drift der Familien bzw. Entwicklungsstadien anzupassen, welche die saisonalen Zyklen wiedergeben. Sofern signifikante Trends vorhanden waren, wurden für alle folgenden Analysen die Residuen (DD_{Res}), die Abweichungen der gemessenen von den durch die Kurven vorhergesagten Driftdichten, verwendet. In Fällen, wo keine Signifikanz der zeitlichen Komponente auf die Drift gegeben war oder aufgrund niedriger Individuenzahlen keine Kurvenanpassung durchgeführt werden konnte, wurden für weitere Berechnungen die transformierten Werte der Driftdichten herangezogen.

2.4.1 Datentransformation

Die Driftdichten wurden mit dem K-S Test auf Normalverteilung und Varianzhomogenität geprüft. Da diese nicht gegeben war, jedoch für viele statistische Verfahren und eine Berechnung des Mittelwertes vorausgesetzt wird, musste eine Datensatztransformation durchgeführt werden.

Die Annäherung an eine Normalverteilung kann in vielen Fällen mit einer Logarithmierung der Rohdaten [$x' = \log(x)$] erreicht werden. Wenn aber, wie bei den Driftdichten der Fall, der Wert Null häufig auftritt, muss zu diesen 0-Werten ein niedriger positiver Wert addiert werden [$x' = \log(x+1)$], da $\log(0)$ nicht definiert ist. Weil im Datenset der Gesamtdriftdichten die kleinsten positiven Werte <1 waren, wurde eine spezielle Form der log-Transformation nach McCune & Grace (2002) gewählt:

$$x' = \log(x + d) - c$$

$$c = \text{int}(\log(\min(x)))$$

$$d = \log^c$$

Wobei sich ergab:

$$c = -1; d = 0,1.$$

Die Rücktransformation erfolgt nach der Formel:

$$x = 10^y * 10^c - d$$

Bei den Driftdichten der Familien und Entwicklungsstadien wurde gleich verfahren.

Hier ergab sich: $c=0; d=1$

Die Formel für die Transformation reduzierte sich demnach auf:

$$x' = \log(x + 1)$$

Und die Rücktransformation folgte der Formel:

$$x = 10^{x'-1}$$

2.4.2 Nullfänge

Um die steuernde Wirkung der gemessenen hydrophysikalischen Faktoren auf die Fischdrift zu prüfen, wurde zunächst auf etwaige Korrelationen zwischen der Driftdichte und den einzelnen abiotischen Parametern getestet. Die Ergebnisse der Spearman-Rho-Tests finden sich im Anhang. Zur genaueren Betrachtung und graphischen Darstellung wurden Regressionsanalysen durchgeführt. Unter Miteinbeziehung der zahlreichen Nullfänge im Datensatz wiesen die meisten Regressionen niedrige Bestimmtheitsmaße auf. Höhere r^2 -Werte ergaben sich, wenn die Nullfänge nicht berücksichtigt wurden. Zur Überprüfung der Legitimität dieses Ver-

fahrens musste sichergestellt werden, dass die Nullfänge keine Abhängigkeiten von den Umweltfaktoren aufweisen, die sich gravierend von denen der Fänge unterscheiden und demnach nicht mit der Methodik erklärt werden können. Aufgrund der ähnlichen Verteilung der Fänge und Nullfänge über die gemessenen Uferentfernungs-, Tiefen-, und Strömungsspektren (Abb.7) wurden Netze, in denen sich keine Individuen einer bestimmten Familie bzw. eines bestimmten Stadiums befanden, bei den entsprechenden Analysen nicht berücksichtigt.

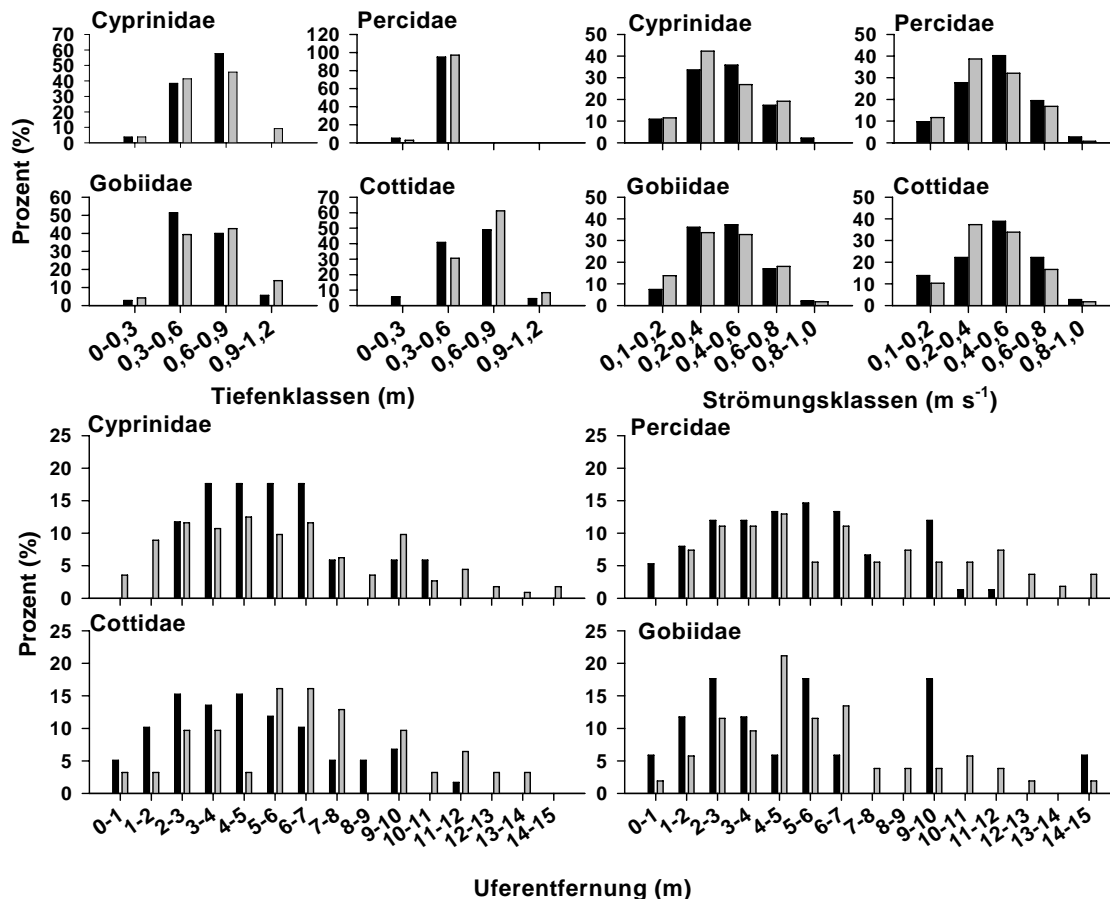


Abbildung 8: Darstellung der Verteilung von Fängen (schwarz) und Nullfängen (grau).

2.5 Hydrodynamisches Modell

Um Informationen über Tiefe, Fließgeschwindigkeit und Sohlschubspannung im Untersuchungsgebiet und an den einzelnen Probepunkten zu erhalten, wurden die Fangdaten mit einem hydrodynamischen Geländemodell verschnitten (Tritthart & Gutknecht 2007). Ziel war es, Werte für abiotische Parameter zu erhalten, die im Freiland nicht gemessen werden konnten, aber möglicherweise die Drift beeinflussen. Außerdem ermöglicht das Modell die Darstellung der hydrophysikalischen Bedingungen flussaufwärts der Probestellen und erlaubt so eine Bewertung steuernder Faktoren der Drift auf einer größeren räumlichen Skalierung. Mo-

delbasis ist ein Rechnernetz aus Hexagonen, das Werte über das gesamte Untersuchungsgebiet interpoliert. In der Mitte jedes Sechsecks liegt ein Berechnungspunkt für die abiotischen Parameter an dieser Stelle (z.B. Strömungsgeschwindigkeit in drei Dimensionen, Sohlschubspannung, Turbulenz, Wassertiefe). Nachdem den GPS-Daten der einzelnen Driftnetze die Projektion des Modells (Gauß-Krüger M34, MGI, Hermannskogel, Bessel Spheroid) zugewiesen wurde, konnten für alle Netzpositionen die verfügbaren Modellwerte abgerufen werden. Sämtliche Modellberechnungen sind für 14 verschiedene Durchflüsse vorhanden. Modelldurchfluss und Durchfluss am jeweiligen Probetermin sollten so gut wie möglich zusammenpassen.

Das Programm Microsoft Office Excel 2003 wurde für Datenverwaltung, Transformationen und einfache Berechnungen verwendet. Sämtliche statistischen Tests in dieser Arbeit wurden im Programm SPSS 16.0 gerechnet. Für bivariate Korrelationen wurde bei nicht normalverteilten Daten der Spearman-Rho-Test angewendet, wobei p-Werte kleiner 0,05 signifikante, p-Werte kleiner 0,01 hoch signifikante und p-Werte kleiner 0,001 höchst signifikante Ergebnisse auswiesen. Alle Grafiken und Regressionen wurden mit dem Programm SigmaPlot 10.0 erstellt bzw. berechnet.

Die Entfernung der Netze vom Ufer wurde mit der Längenmessfunktion im Programm ArcGis.9 berechnet. Mit demselben Programm wurden die Orthophotos bearbeitet und die Verschneidung der Driftdaten mit dem hydrodynamischen Modell durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Hydrologische Messungen

3.1.1 Durchfluss und Wassertemperatur

Das Abflussgeschehen der Donau während des Untersuchungszeitraums war gekennzeichnet durch eine erhöhte Mittelwasserführung ($2368 \pm 331 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) und einen mehrgipfeligen Verlauf mit stochastischen Abflussspitzen von April bis Juni (Abb.9). Während die hohen mittleren Durchflüsse die nivale Komponente im Abflussregime des Flusses anzeigen (Einmündung alpiner Zubringer), gehen die kurzweiligen Spitzenabflüsse auf hydroklimatische Verhältnisse (Niederschlagsereignisse) zurück (pluviale Abflusspeisung). Der höchste von der Messstation Hainburg aufgezeichnete Durchfluss am 24. April ($3241 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) trat zwischen den ersten beiden, der niedrigste Wert am 22. Juni ($1832 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) zwischen den letzten beiden Sammeltagen auf. Die gemessenen Durchflusswerte an den einzelnen Probeterminen variierten zwischen $1885 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ und $2740 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Eine Inundation der angrenzenden Auegebiete war bei keiner Probennahme gegeben.

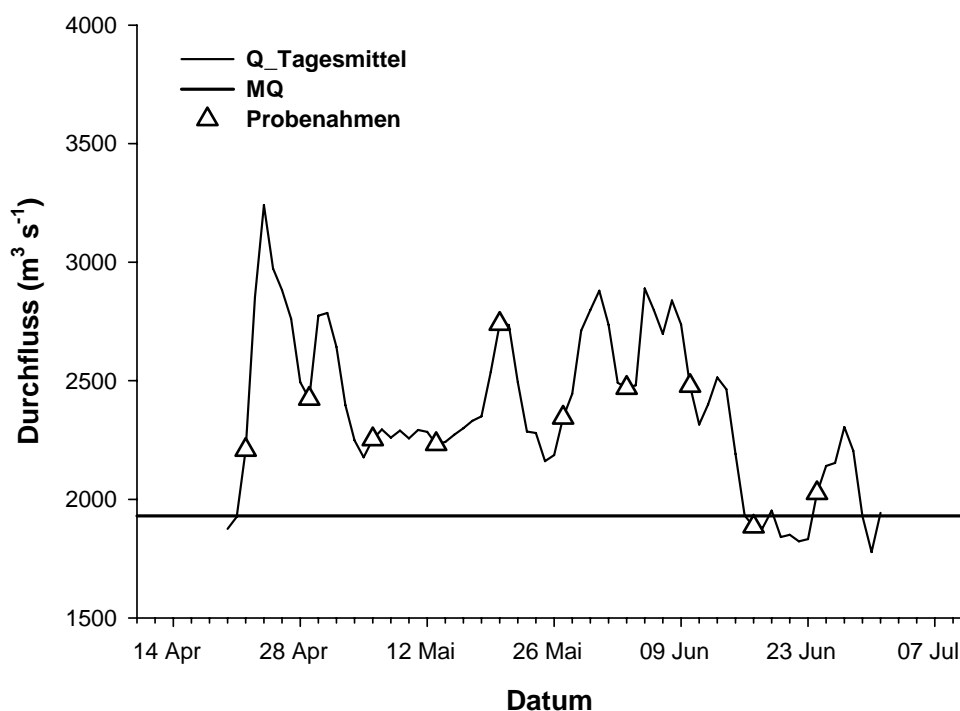


Abbildung 9: Tagesmittel des Durchflusses (Messstation Hainburg) über den Probezeitraum und an den einzelnen Probeterminen.

Die Tagesmittel der Wassertemperatur nahmen im Verlauf der Saison kontinuierlich zu (Abb.10). Zwischen erster und letzter Probenahme war ein Temperaturanstieg um 6,5°C zu verzeichnen. Der allgemeine Trend der Temperaturkurve wird höchst signifikant von der Lufttemperatur beeinflusst (Jungwirth et al.2003). Ein geringerer Teil der Temperaturvariabilität in der Donau konnte signifikant mit Änderungen des Durchflusses erklärt werden (Abb.10).

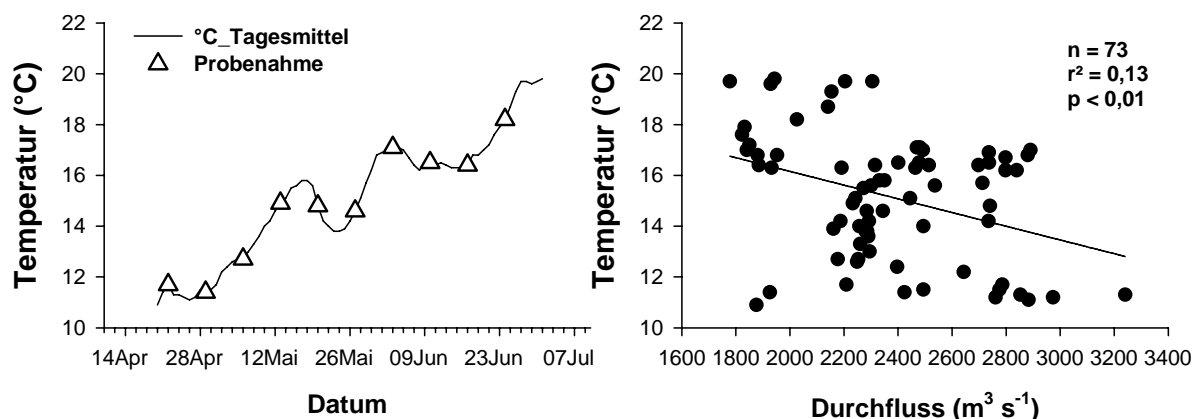


Abbildung 10: Anstieg der Wassertemperatur im Untersuchungszeitraum (links) und Abnahme bei zunehmendem Durchfluss (rechts).

Tabelle 2: Tagesmittel des Durchflusses und der Wassertemperatur an den Probeterminen.

Datum	Durchfluss (Q)	Temperatur (°C)
22. Apr 08	2209	11.7
29. Apr 08	2424	11.4
06. Mai 08	2253	12.7
13. Mai 08	2233	14.9
20. Mai 08	2740	14.8
27. Mai 08	2344	14.6
03. Jun 08	2470	17.1
10. Jun 08	2478	16.5
17. Jun 08	1885	16.4
24. Jun 08	2026	18.2

3.1.2 Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe

Informationen über die Fließgeschwindigkeit an den einzelnen Probenpunkten ergeben sich aus der Position der Netze im hydrodynamischen Modell. Alternativ kann die Strömung in der Netzöffnung auch über Umdrehungszahl und Expositionszeit des Durchflussmessers berechnet werden. Die Vorteile des Modells liegen darin, dass die interpolierten Werte auch Strömungsverhältnisse flussaufwärts der Probestelle integrieren und keine Rückstaueffekte der

Netze auftreten, die bei einer Berechnung aus dem Durchflussmesser zu deutlich niedrigeren Fließgeschwindigkeiten führten (Abb.11).

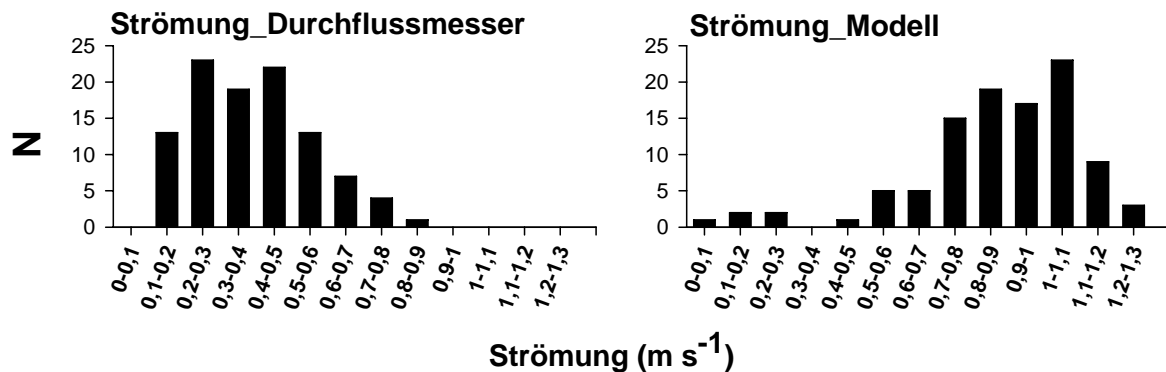


Abbildung 11: Berechnete Strömungswerte vom Durchflussmesser mit Rückstau effekt der Netze (links), und Modellströmung (rechts).

Sämtliche Netze lagen in einem Strömungsbereich von 0,04 bis 1,25 m.s⁻¹. Die gemessenen Wassertiefen variierten zwischen 0,23 und 1,08 m. Die mittleren Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen an den einzelnen Probeterminen sind in Tabelle 3 angeführt.

Die graphische Darstellung der Tiefen-, und Strömungsverhältnisse (Abb.12) fasst alle erhobenen Messwerte, unabhängig vom Durchfluss, zusammen.

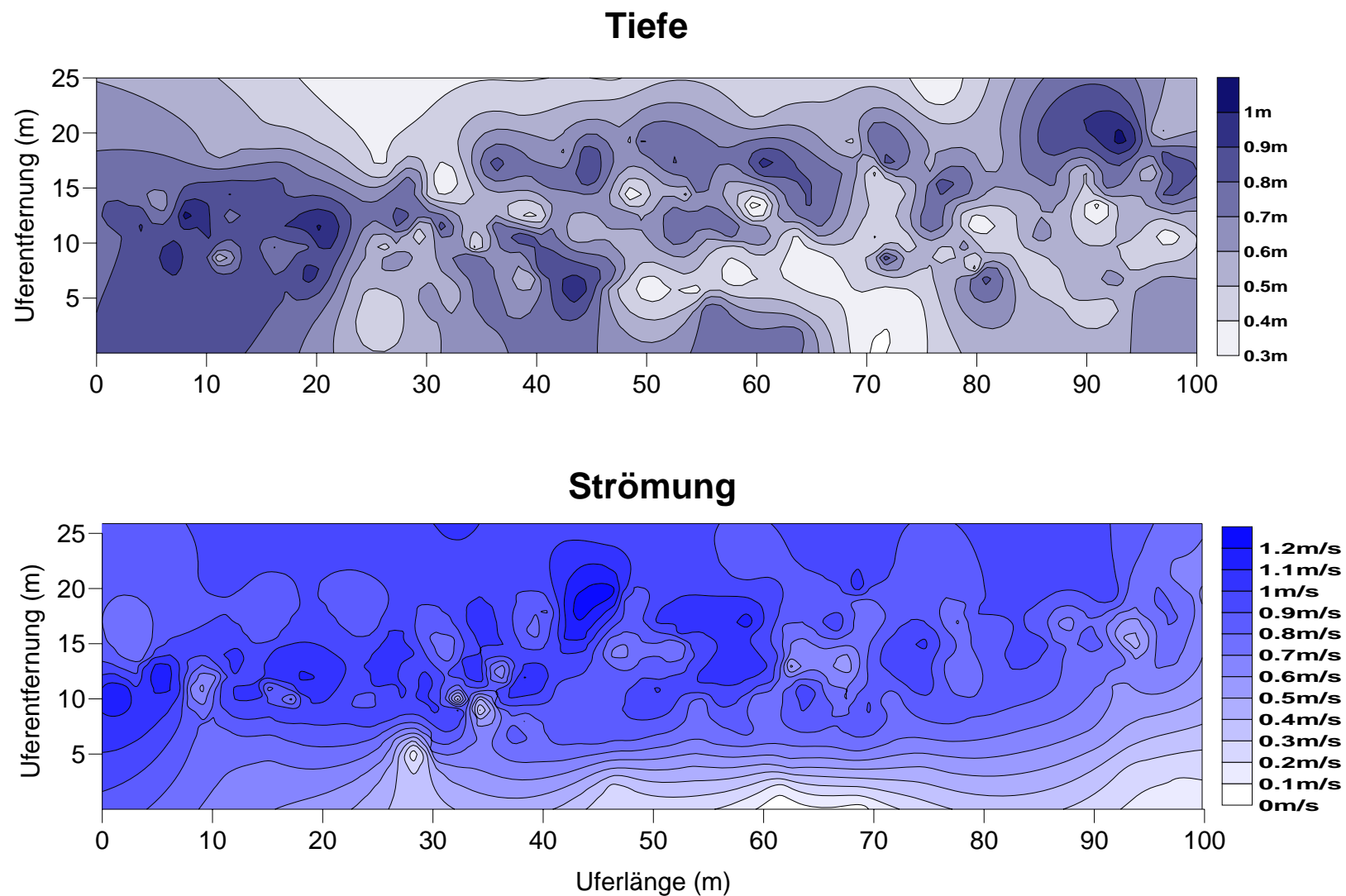


Abbildung 12: Schematische Flächendarstellung der interpolierten Tiefen- und Strömungswerte des gesamten Untersuchungszeitraumes

Tabelle 3: Mittlere Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen an den einzelnen Probe-terminen.

Datum	mittlere Strömung (m s ⁻¹)	mittlere Tiefe (m)
22. Apr 08	0.76 ± 0.22	0.65 ± 0.14
29. Apr 08	0.89 ± 0.22	0.67 ± 0.20
06. Mai 08	0.86 ± 0.12	0.63 ± 0.22
13. Mai 08	0.89 ± 0.11	0.65 ± 0.18
20. Mai 08	0.68 ± 0.22	0.66 ± 0.18
27. Mai 08	0.91 ± 0.15	0.67 ± 0.18
03. Jun 08	0.95 ± 0.14	0.64 ± 0.19
10. Jun 08	0.91 ± 0.31	0.77 ± 0.23
17. Jun 08	0.80 ± 0.13	0.43 ± 0.10
24. Jun 08	0.58 ± 0.19	0.72 ± 0.17

Tabelle 4 fasst die Ergebnisse des Spearman-Rho-Tests für die Korrelationen der wichtigsten abiotischen Parameter und der Uferentfernung zusammen. Die Entfernungen der Netze vom Ufer nahmen mit steigendem Durchfluss ab. Vor allem die großen Tiefen bei erhöhter Wasserführung begrenzten die lateralen Distanzen der Netze zum Ufer. Die Strömungsgeschwindigkeiten stiegen bei erhöhter Wasserführung und zunehmender Distanz zum Ufer an. Die Modellwerte für die Sohlschubspannung waren signifikant positiv mit der Wassertiefe und der Fließgeschwindigkeit korreliert.

Tabelle 4: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die abiotischen Faktoren (Durchfluss, Strömung, Tau, Tiefe: n=210; Uferentfernung: n=130).

		Durchfluss	Strömung	Tiefe	Uferentfernung	Tau
Durchfluss	r	.	0,245	0,214	-0,345	0,210
	p	.	0,000	0,002	0,000	0,765
Strömung	r	.	.	0,307	0,254	0,488
	p	.	.	0,000	0,003	0,000
Tiefe	r	.	.	.	0,163	0,159
	p	.	.	.	0,050	0,021
Uferentfernung	r	.	.	.	.	-0,083
	p	.	.	.	.	0,348

3.2 Zusammensetzung des Fangs (Taxonomie, Ontogenie)

Im Zuge der Probennahme wurden insgesamt 5239 Individuen aus sieben verschiedenen Familien gefangen. Die dominanten Familien in der Drift waren die Gobiiden (55,3% des Gesamtfanges) und die Cypriniden (39,9%). Es folgten in weit geringeren Prozentanteilen Perciden (3,3%) und Cottiden (1,3%) (Abb.13). Die übrigen 3 Familien (Siluridae, Esocidae, Gasterosteidae) wurden durch Einzelindividuen repräsentiert. Fast zwei Drittel aller Fische, denen ein Entwicklungsstadium zugewiesen wurde, gehörten dem ersten (31,3%), zweiten (10,5%) oder dritten (21,7%) Larvenstadium an (Abb.14). Die Anteile der restlichen Larven-

stadien lagen unter 10%. Juvenile Individuen machten exakt 20% des Gesamtfanges aus, wobei frühere Juvenile (14,6%) häufiger waren als spätere (5,4%). Die detaillierte prozentuelle Aufschlüsselung des Gesamtfanges findet sich im Anhang.

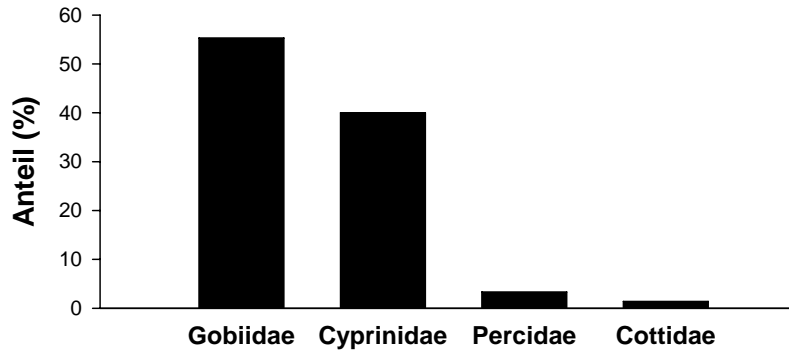


Abbildung 13: Prozentueller Anteil der vier dominanten Familien am Gesamtfang.

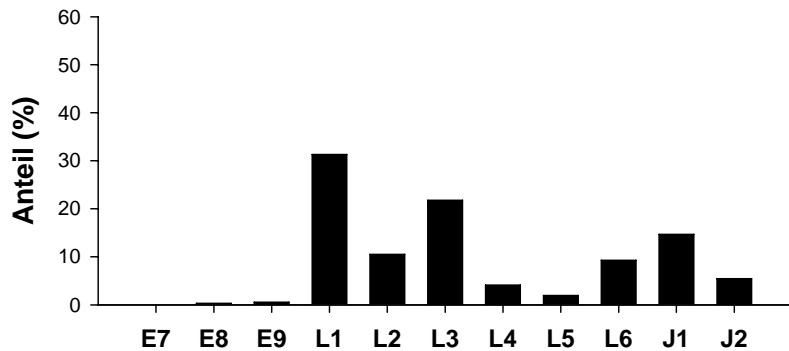


Abbildung 14: Prozentueller Anteil der einzelnen Entwicklungsstadien am Gesamtfang.

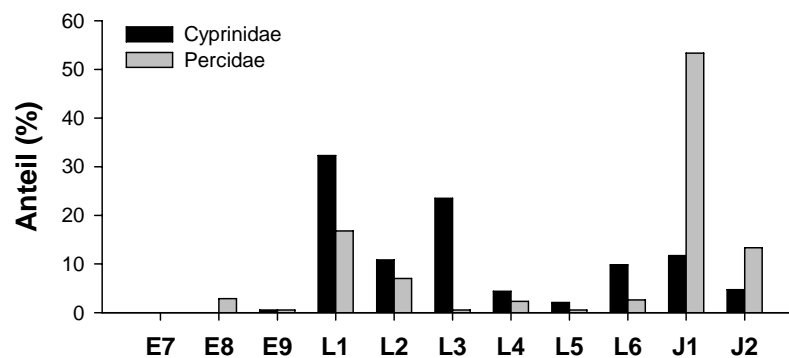


Abbildung 15: Relativer prozentueller Anteil der Cypriniden-, und Percidenstadien am Gesamtfang der jeweiligen Familie.

3.3 Driftdichten nach Familien und Entwicklungsstadien

Von den vier häufigsten Familien wiesen die Gobiiden mit $0,72 \pm 0,65 \text{ Ind.}100 \text{ m}^{-3}$ die höchste mittlere Driftdichte auf. Es folgten die Cypriniden mit $0,62 \pm 0,45 \text{ Ind.}100\text{m}^{-3}$. Wie in Abbildung 16 zu sehen ist, streuten die Driftdichten der Gobiiden über einen breiteren Bereich.

In weitaus geringeren Dichten waren Perciden ($0,14 \pm 0,22 \text{ Ind.}100\text{m}^{-3}$) und Cottiden ($0,09 \pm 0,18 \text{ Ind.}100\text{m}^{-3}$) in der Drift vertreten. Bei den Cypriniden ($F_{(7-1102)}=9,32$, $p<0,001$) und Perciden ($F_{(7-586)}=11,01$, $p<0,001$) war die Anzahl der driftenden Fische signifikant mit dem Entwicklungsstadium korreliert (Tab.5). Höhere Dichten der frühen Larvenstadien (L1, L3), gefolgt von einer stark abnehmenden Häufigkeit der älteren Larven (L4, L5) und einem erneuten Anstieg in späteren Entwicklungsphasen (J1) kennzeichneten den allgemeinen Trend bei den Cypriniden. Bei den Perciden unterschied sich das J1-Stadium aufgrund der hohen Driftdichte in dieser Entwicklungsphase höchst signifikant von den restlichen Stadien.

Tabelle 5: Duncan-Test auf homogene Untergruppen für die Entwicklungsstadien der Cypriniden. Faktor: Driftdichte.

Stadium	N	1	2	3	4
L5	110	0,06			
L4	129	0,10	0,10		
J2	63		0,17	0,17	
L2	210		0,18	0,18	
L6	110			0,19	
J1	87			0,23	0,23
L3	191			0,25	0,25
L1	210				0,29
Signifikanz		0,24	0,05	0,06	0,21

Über 37% der Cypriniden drifteten im ersten Larvenstadium. Weitere 23% waren dem L3-Stadium zugehörig. Es folgten in abnehmender Abundanz CL2 (13%), CL6, CJ1 (je 9%), CJ2 (4%), CL4 (4%) und CL5 (1,8%).

Bei den Perciden dominierten Individuen im ersten juvenilen Entwicklungsstadium (49%), vor PL1 (24%), PJ2 (12%), PL2 (6%), PL4 (2,8%), PL6 (2%) und PL3 bzw. PL5 (0,3% bzw. 0,5%).

Die Tabelle mit den mittleren Driftdichten der Familien und Stadien an den einzelnen Probetagen findet sich im Anhang.

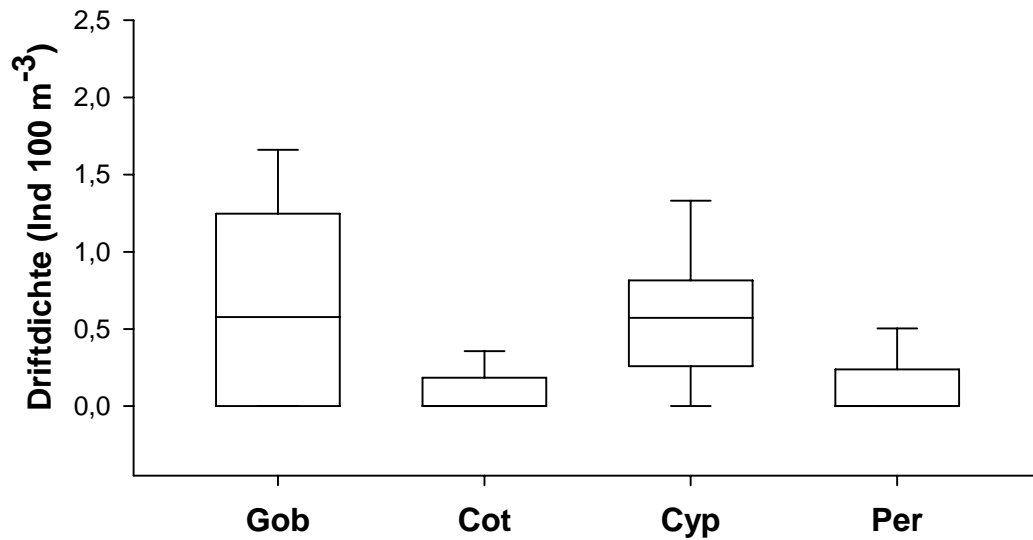


Abbildung 16: Driftdichten der vier dominanten Familien mit Darstellung des Medians und der 25% bzw. 75% Quartile.

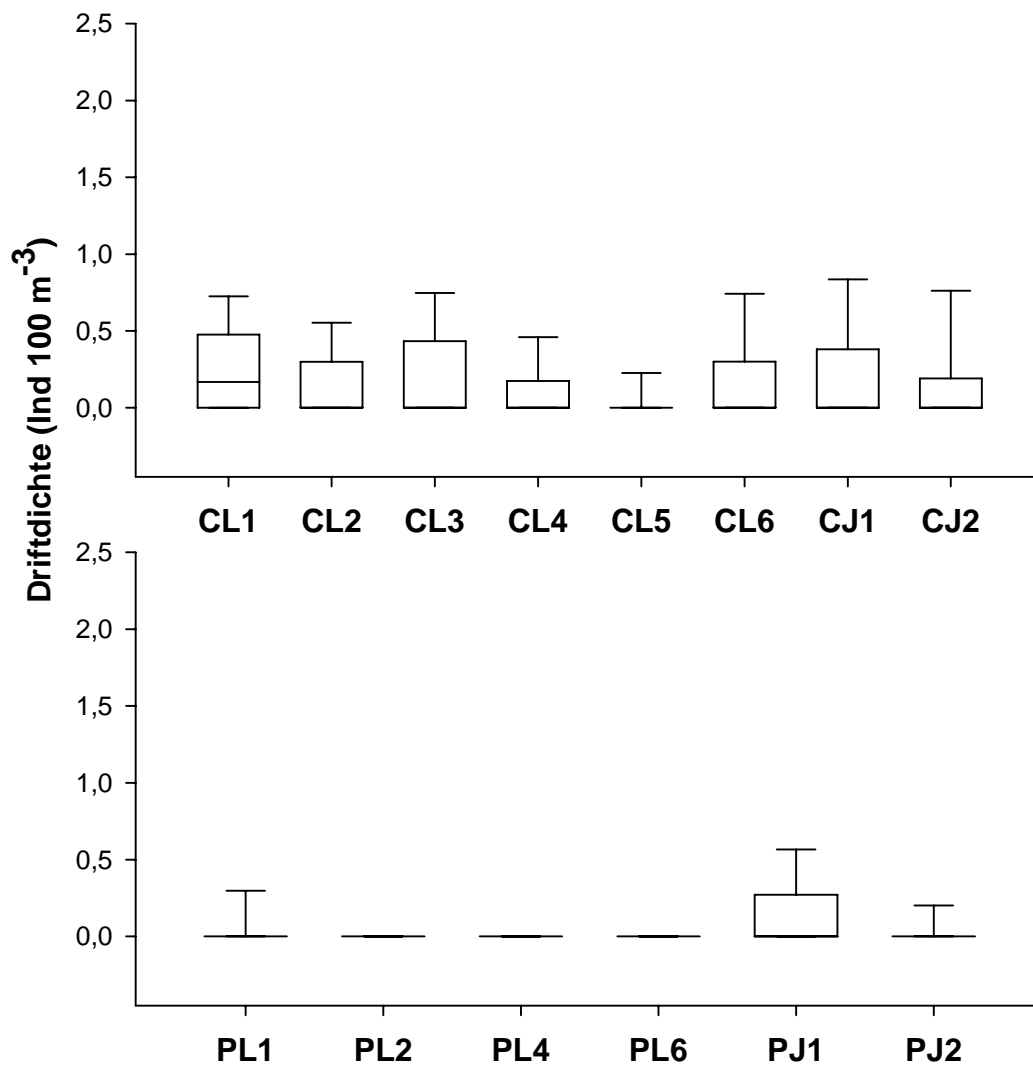


Abbildung 17: Driftdichten von 8 Entwicklungsstadien der Cypriniden (oben) und 6 Entwicklungsstadien der Perciden (unten).

3.4 Größenzusammensetzung des Fangs

3.4.1 Familien

Die Längenfrequenzanalyse bei den Perciden ergab ein multimodales Muster, wobei die Standardlängen zwischen 4,9 und 43,5 mm variierten. Die meisten Fische fielen in die Größenspektren von 4-12 mm bzw. von 14-22 mm. Bei den Cypriniden, die mit Längen von 4,9 mm bis 24,9 mm gefangen wurden, ergab sich eine deutlich bimodale Größenverteilung. Mehr als 20% aller driftenden Cypriniden waren 8-9 mm lang, weitere 17% fielen in die Größenklasse 12-13 mm.

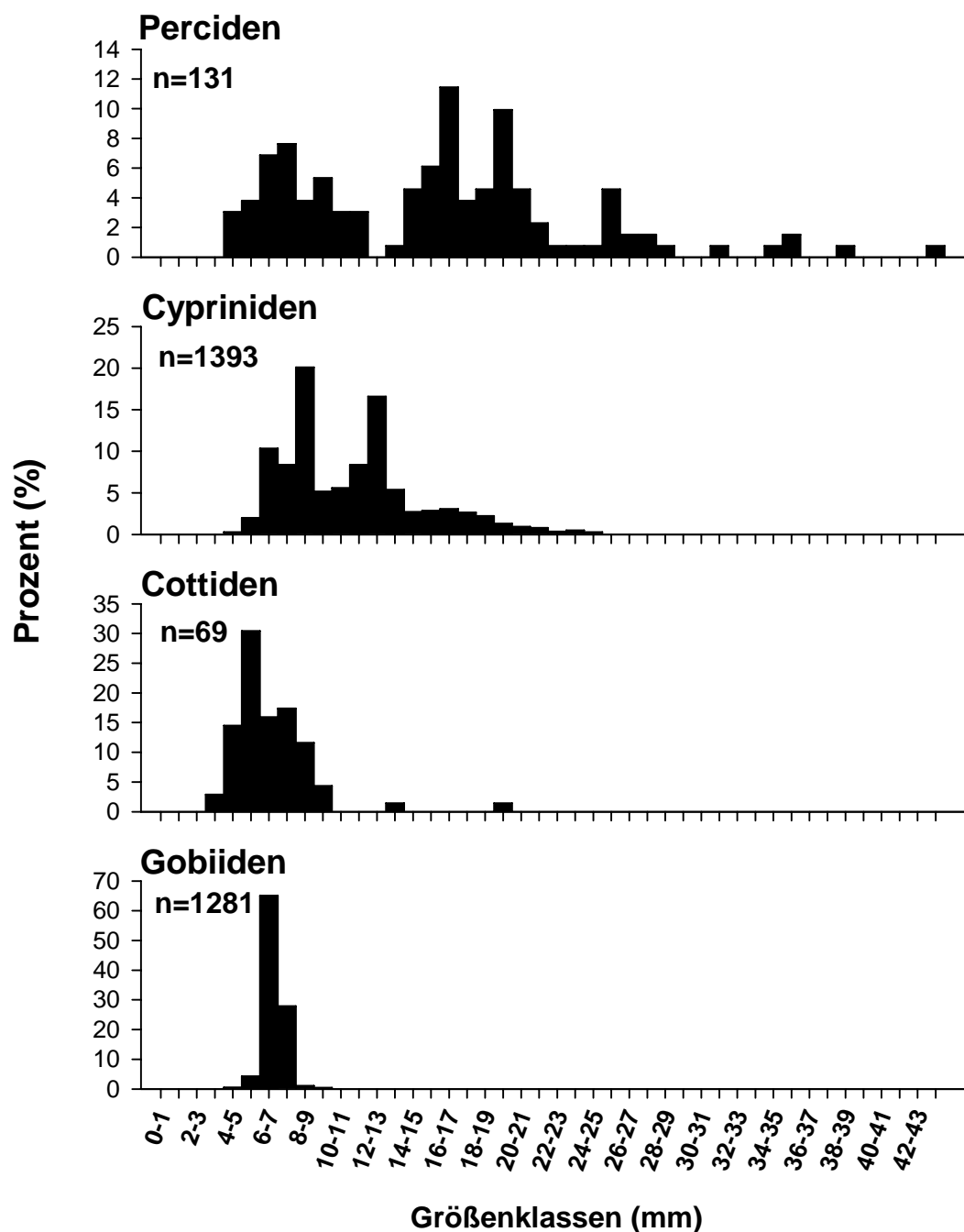


Abbildung 18: Prozentuelle Verteilung der Größenklassen (in mm SL) bei den dominanten Familien in der Drift: Cyprinidae, Percidae, Gobiidae, Cottidae.

Bei über 97 % der Cottiden betrug die Länge von der Schnauzenspitze bis zum Ende des Notochords zwischen 3 und 10 mm (unimodales Muster). Am häufigsten waren Fische zwischen 5 mm und 6 mm vertreten, die etwa 30% der gesamt vermessenen Individuen ausmachten. Noch einheitlicher hinsichtlich der Standardlänge waren nur die Gobiiden. Wie man in Abbildung 18 sehen kann, waren fast alle Grundeln in der Drift gleich groß. Allein 65% gehörten der Größenklasse von 6-7 mm an, weitere 28% der nächst größeren Klasse.

3.4.2 Entwicklungsstadien

Abbildung 20 zeigt die Längenfrequenzen einzelner Entwicklungsstadien bei Perciden und Cypriniden. Die durchschnittliche Körpergröße nimmt bei beiden Familien mit der Ontogenie zu. Bei den Cypriniden bedingen die unimodalen Längenfrequenzen der häufigsten Entwicklungsstadien (L1, L3) das bimodale Muster auf Familienniveau. Eine Variabilität der Standardlänge innerhalb einzelner Stadien ist bei den Cypriniden stärker ausgeprägt als bei den Perciden und geht wahrscheinlich auf artspezifische Unterschiede in der Entwicklung zurück. Gleiche Entwicklungsstadien der Perciden und Cypriniden wiesen mit Ausnahme der älteren Juvenilen keine deutlichen Unterschiede der mittleren Standardlänge auf (Abb.19).

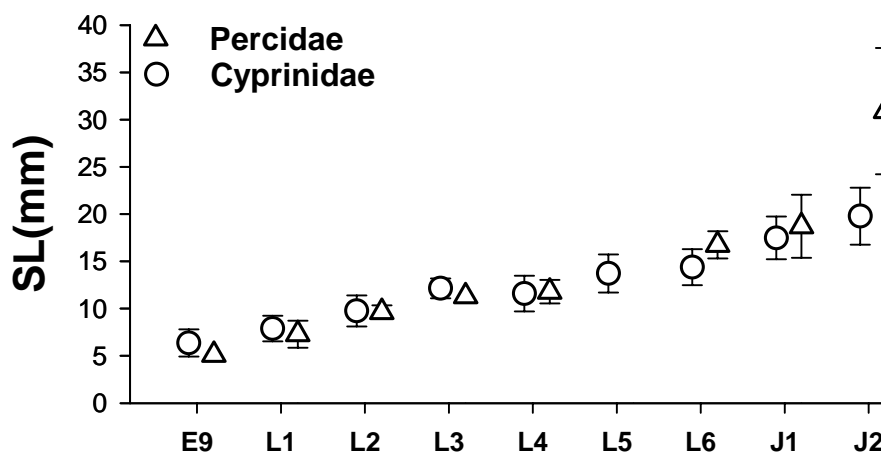


Abbildung 19: Zunahme der mittleren Standardlänge (SL) in der Ontogenie bei Perciden und Cypriniden (Mittelwert \pm Standardabweichung).

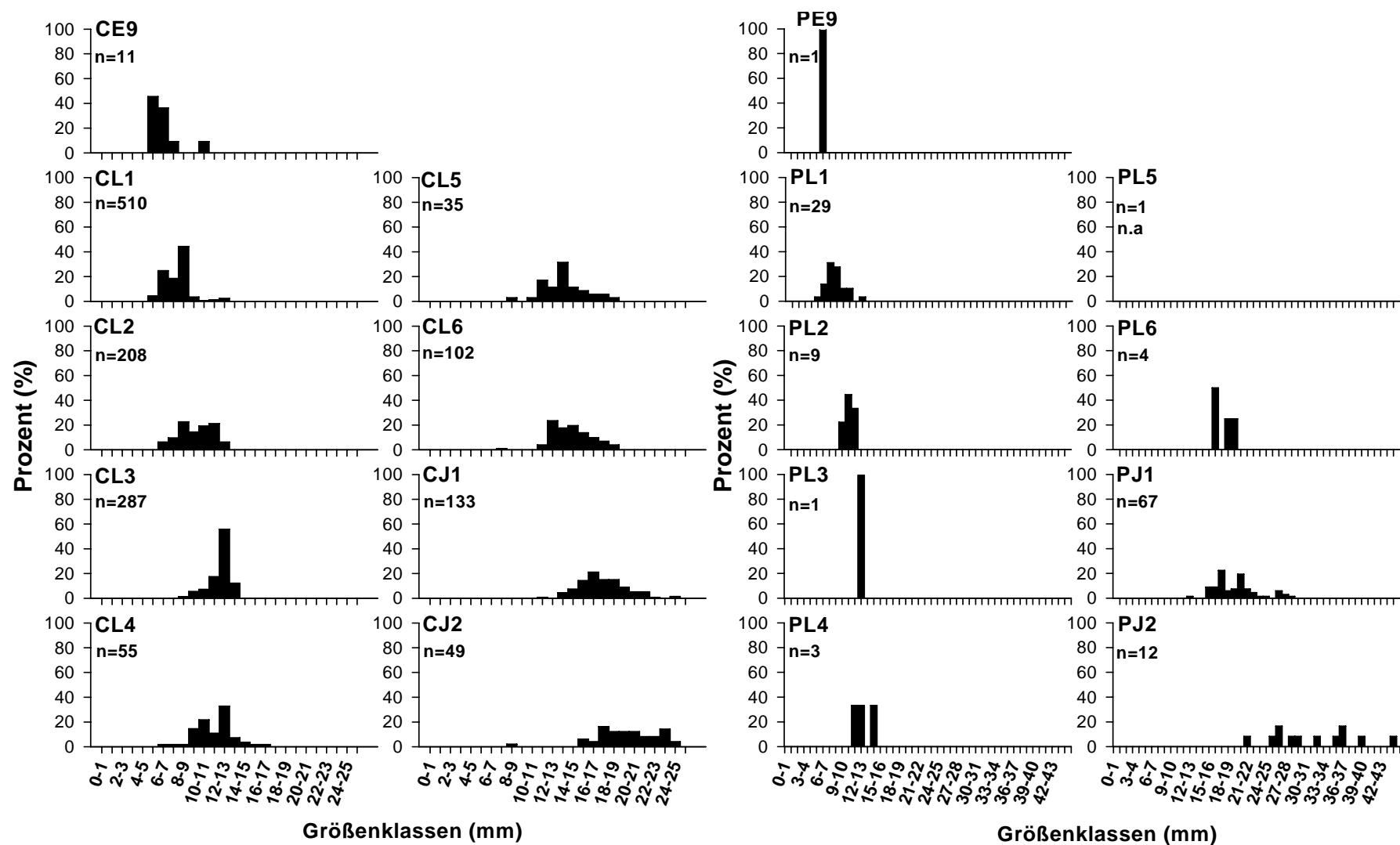


Abbildung 20: Längenfrequenzanalyse für sämtliche Entwicklungsstadien der Cypriniden und Perciden. Keine Längenmessung bei PL5 möglich.

3.5 Saisonalität der Drift

Höchst signifikante saisonale Effekte konnten bei allen vier Familien, sämtlichen Entwicklungsstadien der Cypriniden (außer CL5) und zwei Percidenstadien (PL1, PJ1) festgestellt werden. Die Funktionen der Kurvenanpassungen sind im Anhang angegeben.

Das saisonale Muster der Gesamtdrift in der Donau zeigt einen 1-gipfeligen Verlauf mit einer breiten Driftspitze von Anfang bis Mitte Juni (Abb.21). Die Cypriniden traten am 22.April als erste Familie in der Drift auf. Eine Woche darauf setzte der Drift der Cottiden und Perciden ein. Vertreter der Gobiiden befanden sich das erste Mal am 20.Mai in den Driftnetzen. Alleine der Cottidendrift dauerte nicht bis zum Ende der Probennahme an und war schon Anfang Juni abgeschlossen. Individuen aller Familien wurden an drei Probeterminen (20.Mai, 27.Mai, 3.Juni) gefangen (Abb.22).

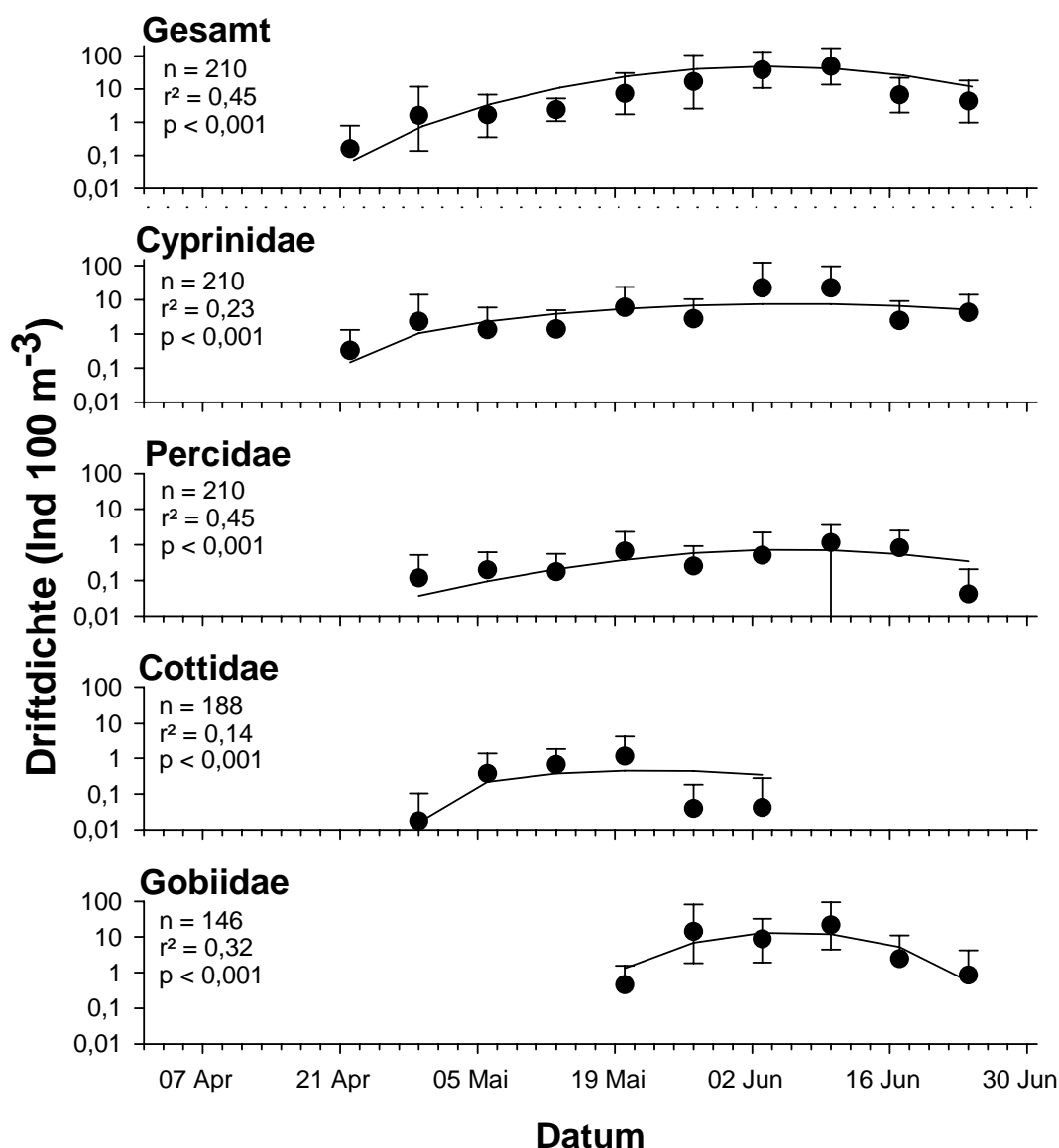


Abbildung 21: Saisonaler Verlauf der Jungfischdrift aller Individuen und einzelner Familien. Angegeben werden die mittleren Driftdichten und ein Streuungsmaß.

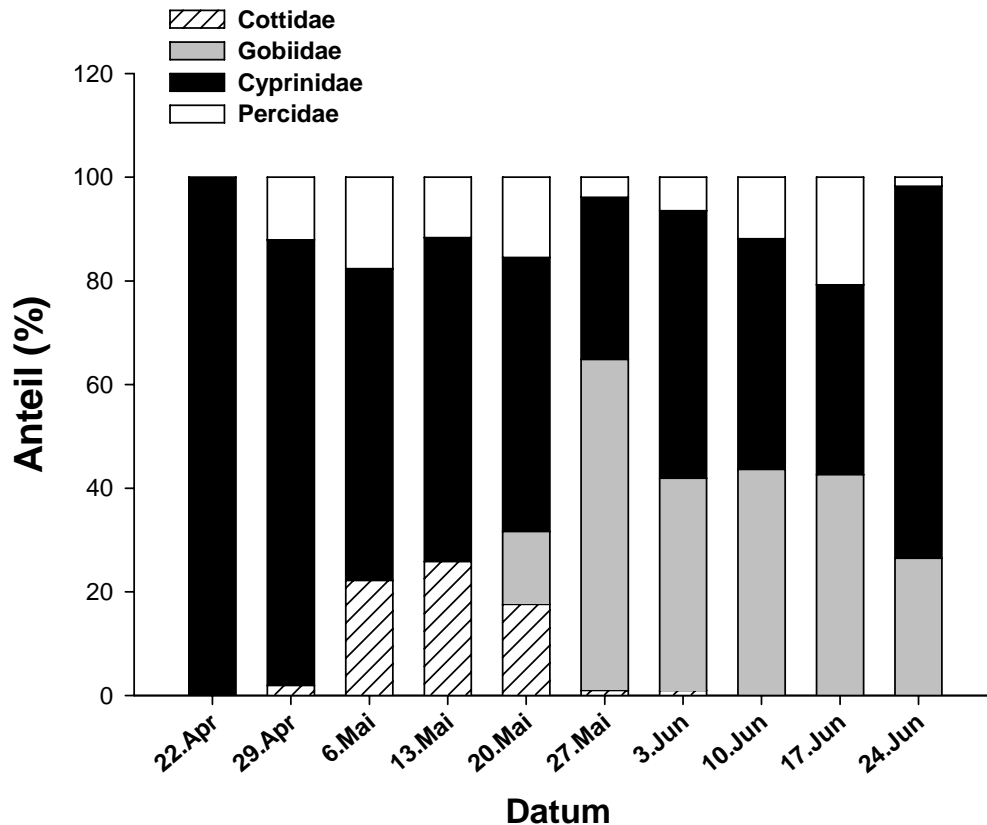


Abbildung 22: Prozentueller Anteil der Familien an der Gesamtdrift der einzelnen Probetermine.

Während die saisonale Drift bei den Perciden und Cypriniden einen zwei-, bzw. mehrgipfeligen Verlauf beschrieb, zeigten Gobiiden und Cottiden unimodale Muster mit deutlichem Anstieg, Maximum und Abnahme der driftenden Individuen über die Zeit.

Driftspitzen traten bei den Cypriniden am 29.April, 20.Mai, und am 3. bzw. 10.Juni auf. Die zeitliche Überlappung der letzten beiden Termine mit den maximalen Driftdichten der Gobiiden bedingte zum Großteil die Spitze in der Gesamtdrift. Bei den Perciden waren die zwei Gipfel am 20.Mai und Anfang bis Mitte Juni nicht so stark ausgeprägt, ließen sich aber gut auf die Driftaktivität einzelner Entwicklungsstadien zurückführen. Am 20.Mai gehörten 95% der driftenden Perciden dem ersten Larvenstadium an. Die hohen Dichten am 10. und 17.Juni gingen hingegen auf das erste juvenile Stadium zurück (78% der Percidendrift am 10.6., 90% am 17.6.).

Der einzige Vertreter der Esocidae driftete am 27.Mai. Die Siluridenlarve wurde am 10.Juni gefangen. Der Gasterosteidae befand sich am 17.Juni in der Drift.

In Abbildung 23 sind die mittleren Driftdichten sämtlicher Entwicklungsstadien der Cypriniden gegen eine Zeitachse aufgetragen. Individuen in der embryonalen Entwicklungsphase konnten nur an drei Probeterminen (29.April; 20. und 27.Mai) gefangen werden. Frühe Larvenstadien (L1-L2) traten hingegen, kontinuierlich über den gesamten Untersuchungszeitraum, in der Drift auf. Da selbst am 24.Juni noch Individuen mit Rudimenten eines Dottersacks gefangen wurden, ist davon auszugehen, dass die Fischdrift am Schotterufer nach Beendigung der Probennahme noch einige Zeit andauerte. Von L3 bis J2 nahm die Anzahl der Tage, an denen Cypriniden des jeweiligen Stadiums in der Drift vertreten waren, kontinuierlich ab. Späte Larvenstadien (CL4-CL6) wurden regelmäßig ab Ende Mai gefangen. Die ersten juvenilen Cypriniden konnten Anfang Juni in der Drift nachgewiesen werden. Die mittlere Driftdichte der CL1 war am 3.Juni mit $7,3 \text{ Ind.}100 \text{ m}^{-3}$ fast fünf Mal so hoch wie am 10.Juni, wo mit $1,5 \text{ Ind.}100 \text{ m}^{-3}$ der zweitgrößte Wert im saisonalen Verlauf erreicht wurde. Ähnliche Muster einer „Massendrift“ einzelner Kohorten gab es bei CL2 (30% aller Individuen drifteten am 20.5.) und bei CL6 (78% drifteten am 10.6.).

Im Gegensatz zu den Cypriniden war das Auftreten junger Entwicklungsstadien bei den Perciden auf wenige Probetage beschränkt. Frühe Larvenstadien (E9-L3) waren von Ende April bis Anfang Juni in der Drift und fehlten an den letzten drei Probeterminen zur Gänze (Abb.24). Ältere Larven (L4-L6) und Juvenile wurden ab 20.Mai gefangen und waren bis zum Ende der Probennahme in der Drift. Der zunehmende Entwicklungsgrad einzelner Kohorten über die Saison konnte gut verfolgt werden. Beginnend bei PL1 am 29.April traten an den kommenden fünf Probeterminen die Stadien PL2-PL6 exakt in dieser Reihenfolge erstmals in der Drift auf. Juvenile Perciden waren am 27.Mai, eine Woche vor den juvenilen Cypriniden, in der Drift vertreten. Die Stadien L3 und L5 konnten nur an jeweils einem Tag (13.Mai bzw. 27.Mai) gefangen werden. Ein starkes Aufkommen einzelner Kohorten wurde am 20.Mai (60 % der PL1) und am 6.Mai (45 % der PL2) beobachtet.

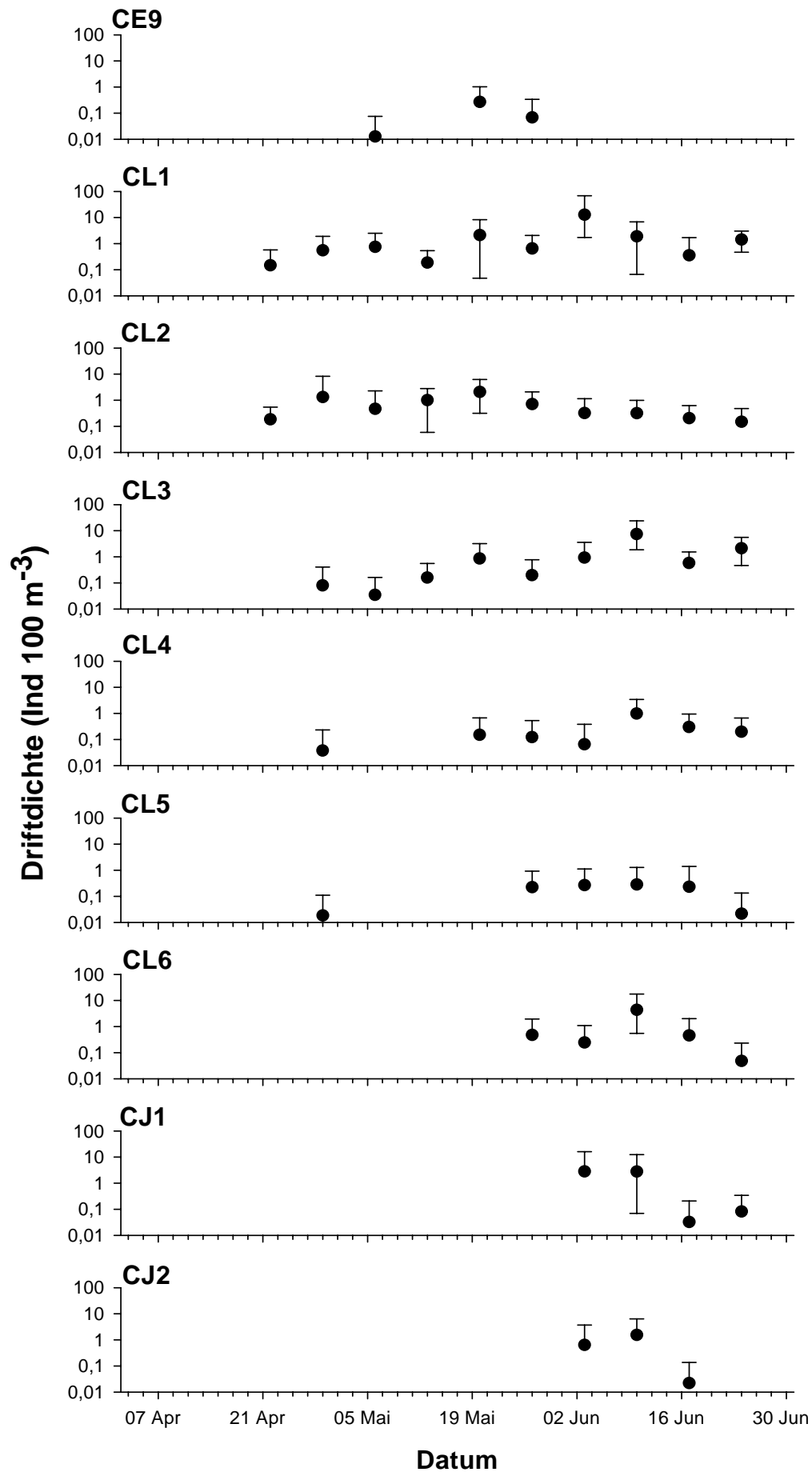


Abbildung 23: Saisonaler Verlauf der Drift für die Entwicklungsstadien der Cypriniden.

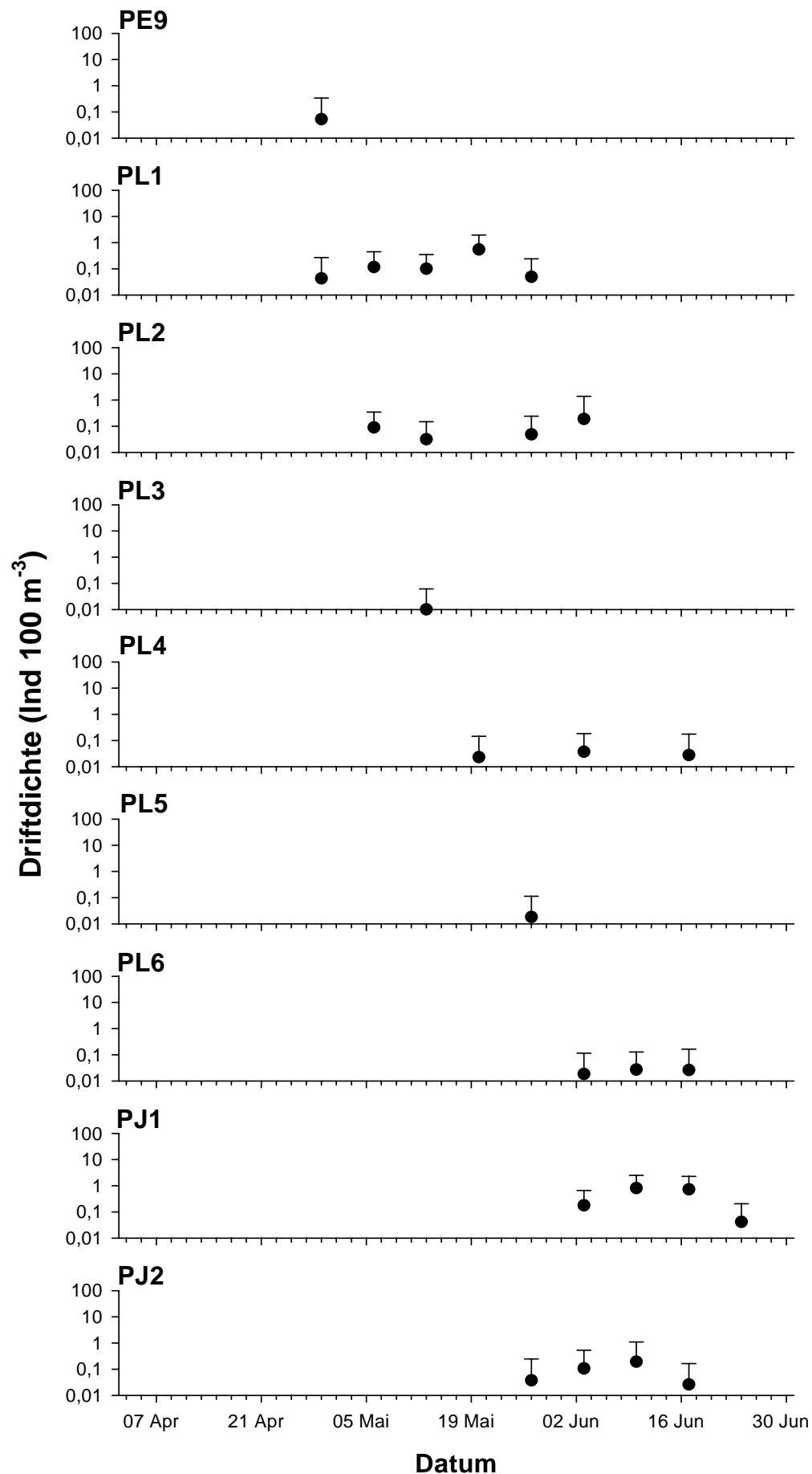


Abbildung 24: Saisonaler Verlauf der Drift für die Entwicklungsstadien der Perciden.

3.6 Temperaturabhängigkeit der Drift

Die Wassertemperatur ist aufgrund der kontinuierlichen Zunahme über den Untersuchungszeitraum und ihres Einflusses auf die Laich- und Entwicklungszeit eher ein Surrogatparameter für die Saisonalität als ein Proximalfaktor für das Driftverhalten der Jungfische. Signifikante Zusammenhänge zwischen der Wassertemperatur und der mittleren Driftdichte waren für alle Familien gegeben und sind in Abbildung 25 dargestellt. Cottiden, Perciden und Cypriniden waren ab 11,4 °C in der Drift. Die höchsten Abundanzen traten bei Temperaturen von 14,8 °C (Cottiden) und 16,5 °C (Perciden und Cypriniden) auf. Die Gobiidendrift setzte erstmals bei Temperaturen über 14 °C ein, und erreichte ebenfalls bei 16,5 °C ihr Maximum.

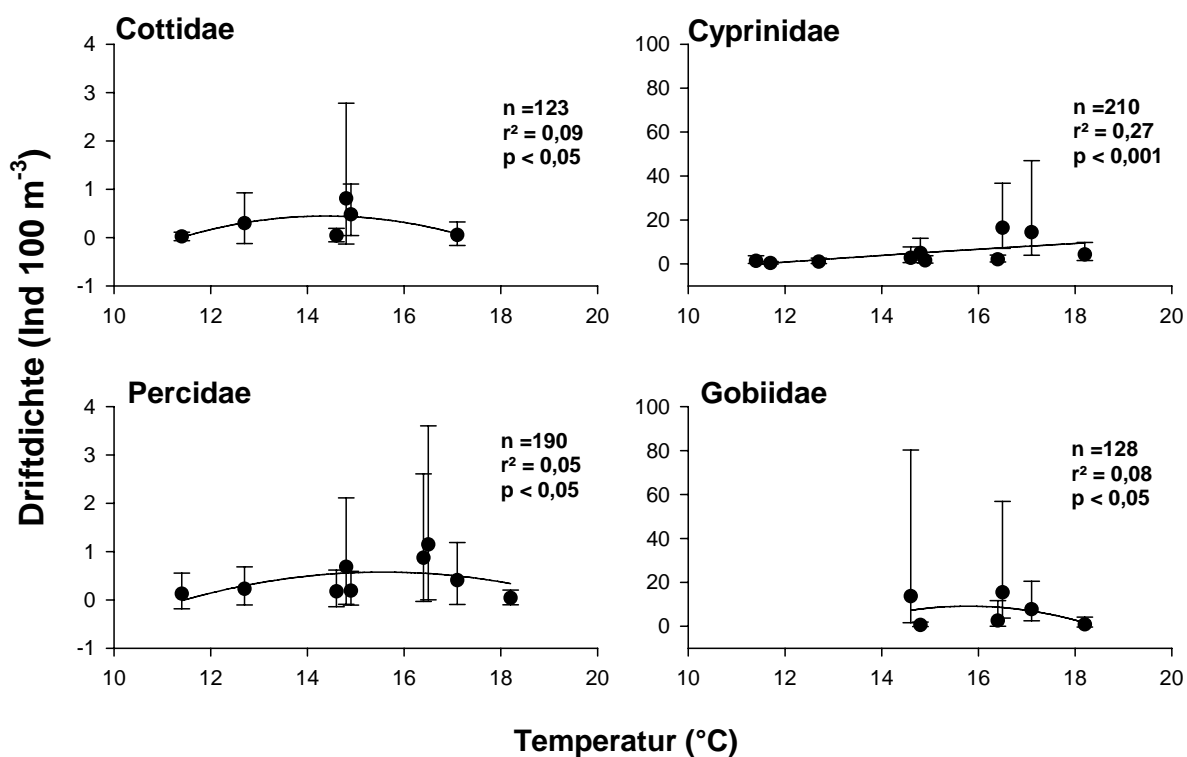


Abbildung 25: Zusammenhang zwischen mittleren Driftdichten der vier dominanten Familien und zunehmender Wassertemperatur im saisonalen Verlauf. Die Y-Achsen bei Cypriniden und Gobiiden sind 25-fach überhöht. $f = Y_0 + ax + bx^2$. Cottidae ($Y_0 = -3,05 \pm 0,86$, $a = 0,44 \pm 0,12$, $b = -0,001 \pm 0,004$), Cyprinidae ($Y_0 = -2,26 \pm 1,31$, $a = 0,28 \pm 0,18$, $b = -0,006 \pm 0,006$), Percidae ($Y_0 = -2,39 \pm 0,72$, $a = 0,35 \pm 0,10$, $b = -0,01 \pm 0,003$), Gobiidae ($Y_0 = -26,46 \pm 2,09$, $a = 3,44 \pm 0,29$, $b = -0,10 \pm 0,009$).

Frühe Larvenstadien der Cypriniden (E9-L3) kamen in einem breiten Temperaturbereich von 11,4 °C bis 18,2 °C vor (Abb. 26). Individuen des fünften und sechsten larvalen Stadiums wurden ab 14,8 °C gefangen und ab 16,4 °C waren erstmals auch juvenile Cypriniden in der Drift. L1-Perciden wurden bei Temperaturen über 14,9 °C nicht mehr gefangen. Juvenile Perciden tauchten schon bei 14,6 °C in der Drift auf (Abb. 27).

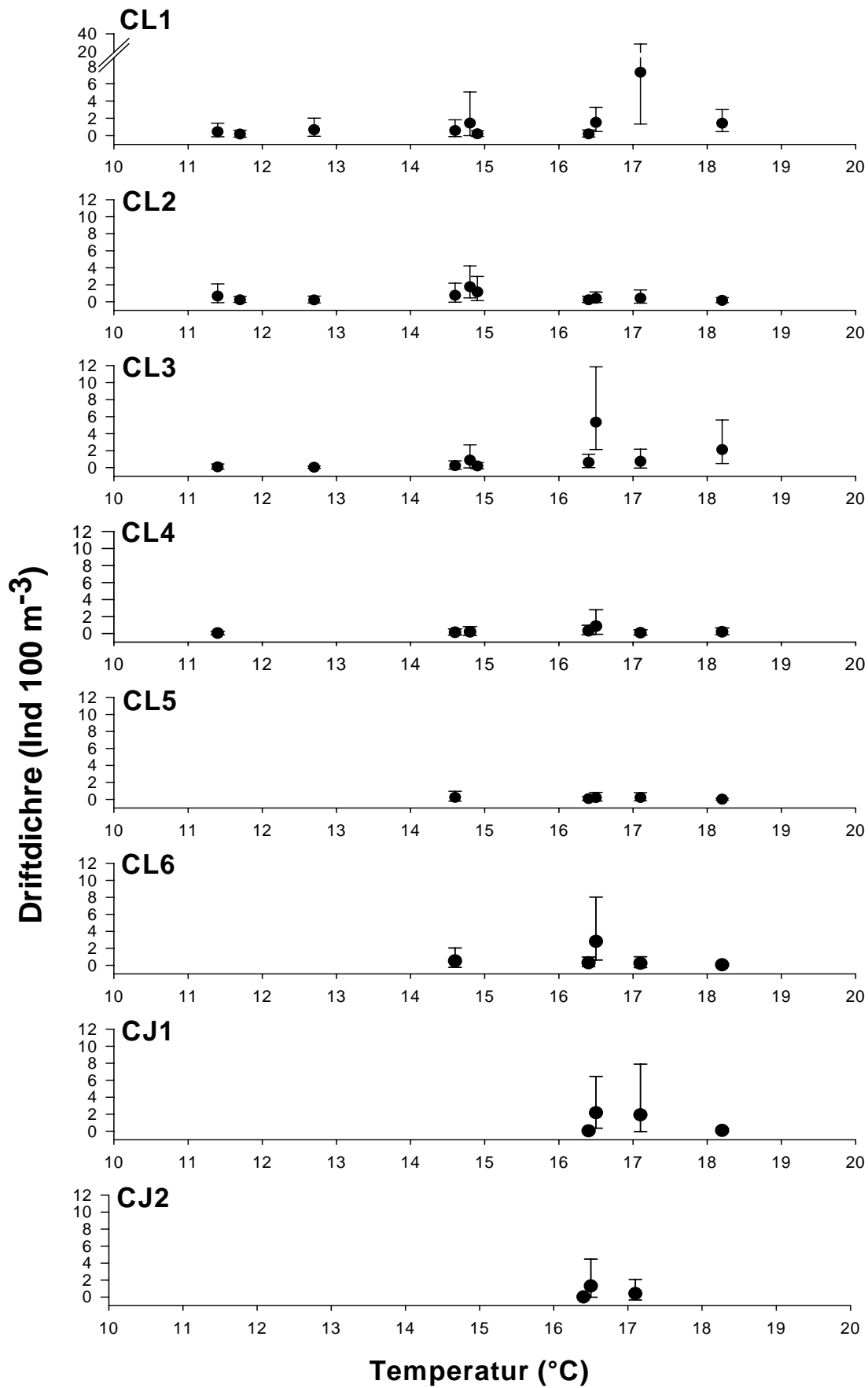


Abbildung 26: Zusammenhang zwischen den mittleren Driftdichten der Cypriniden - Entwicklungsstadien und der Wassertemperatur.

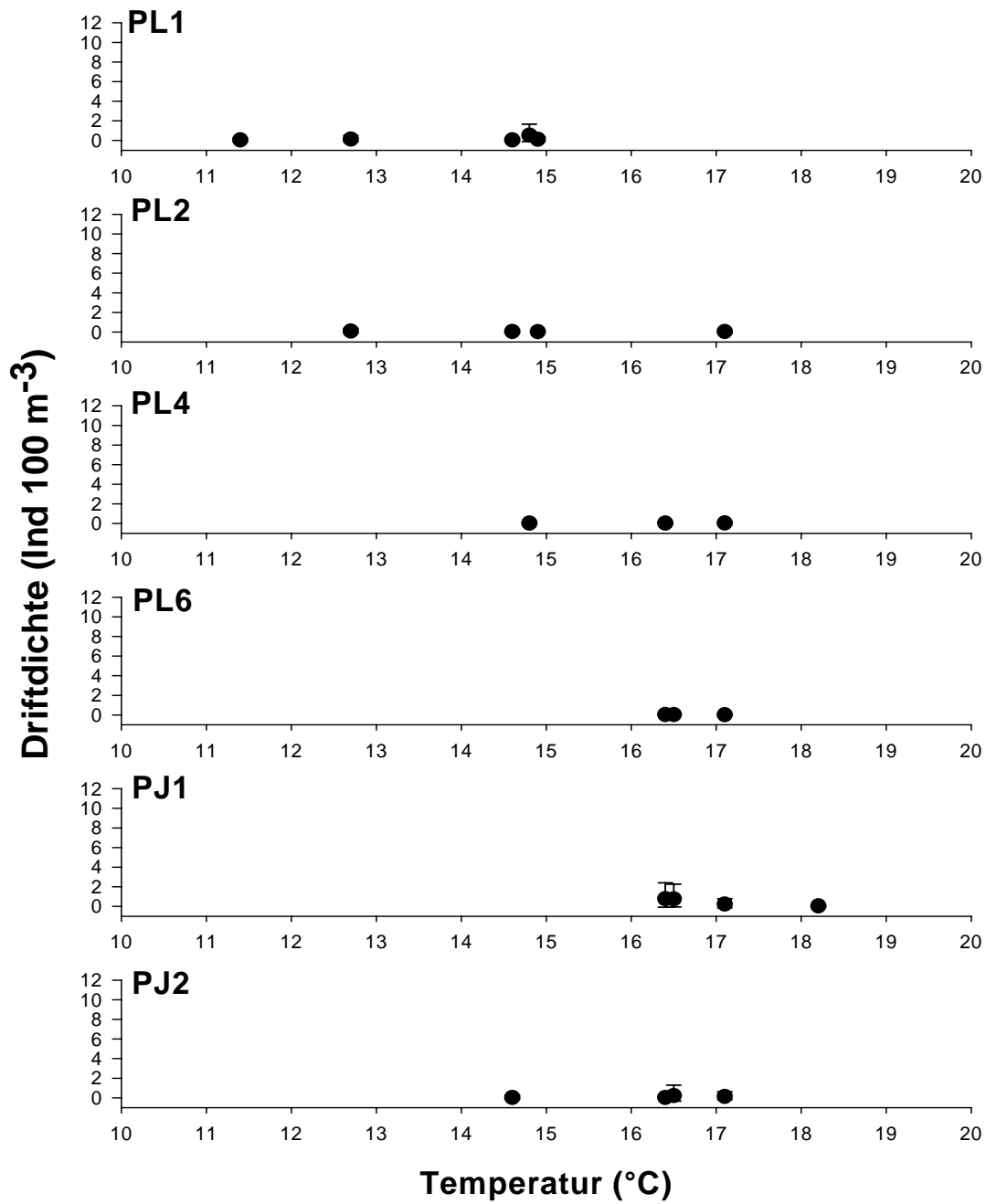


Abbildung 27: Zusammenhang zwischen den mittleren Driftdichten der Perciden - Entwicklungsstadien und der Wassertemperatur.

3.7 Auswirkungen hydrophysikalischer Variablen auf die Drift

3.7.1 Durchfluss

In Abbildung 28 werden die Mediane der Driftdichten bei unterschiedlichen Durchflüssen mit den 25% -, und 75% Quartilen dargestellt. Die Driftdichten stiegen zunächst stark mit der Wasserführung an, um dann bei Durchflüssen von $2233 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (13. Mai) bzw. $2253 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (6. Mai) wieder abzunehmen. Es folgten eine erneute Zunahme und konstant hohe Driftdichten in einem Bereich von $2344\text{-}2478 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Vergleichsweise geringe Abundanzen der Jungfische in der Drift wurden am Tag des höchsten gemessenen Durchflusses ($2740 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) festgestellt.

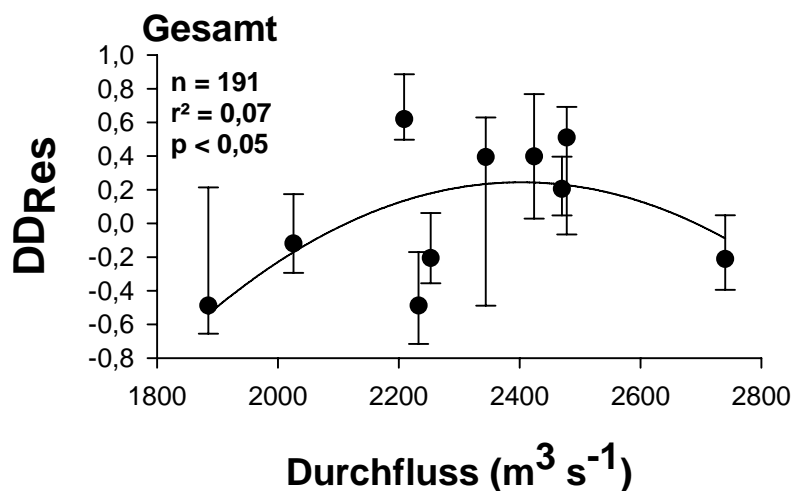


Abbildung 28: Zusammenhang zwischen Driftdichte und Durchfluss unabhängig von saisonalen Effekten.. $f = Y_0 + ax + bx^2$ ($a = 0,008 \pm 0,002$, $b = -1,6\text{E-}006 \pm 5,17\text{E-}007$).

Auf Familienniveau wiesen die Driftdichten der Cypriniden und Cottiden einen signifikanten linearen Zusammenhang mit dem Durchfluss auf (Abb.29). Ähnlich der Gesamtdrift zeigten die Cypriniden am Tag der maximalen Wasserführung aber leicht rückläufige Driftdichten, was bei den Cottiden nicht der Fall war. Das Fehlen von jungen Cottiden bei Durchflüssen unter $2233 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ lag daran, dass diese niedrigen Werte vor bzw. nach Einsetzen der Cottidendrift am Schotterufer gemessen wurden.

Innerhalb der Cypriniden nahm die Abundanz der Stadien L1 und L3 signifikant linear mit dem Durchfluss zu (Abb.30). Individuen des sechsten larvalen Stadiums wurden signifikant seltener bei niederen und hohen Durchflüssen gefangen. Bei den restlichen Cyprinidenstadien, den Perciden und Gobiiden waren keine signifikanten Auswirkungen des Durchflusses auf die Driftdichten gegeben.

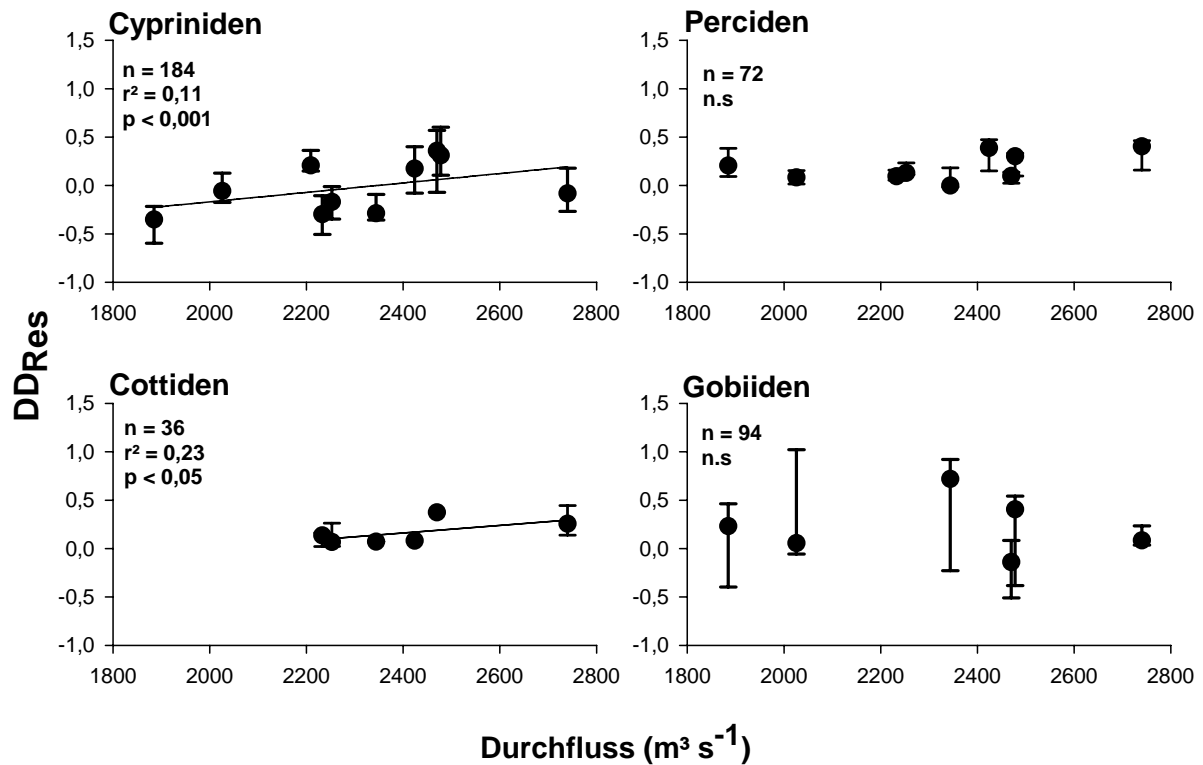


Abbildung 29: Driftdynamik der vier Familien bei zunehmendem Durchfluss. Alle: $f = Y_0 + ax$. Cyprinidae ($y = -1,23 \pm 0,25$, $a = 0,0005 \pm 0,0001$). Cottidae ($y = 0,85 \pm 0,32$, $a = 0,0004 \pm 0,0001$).

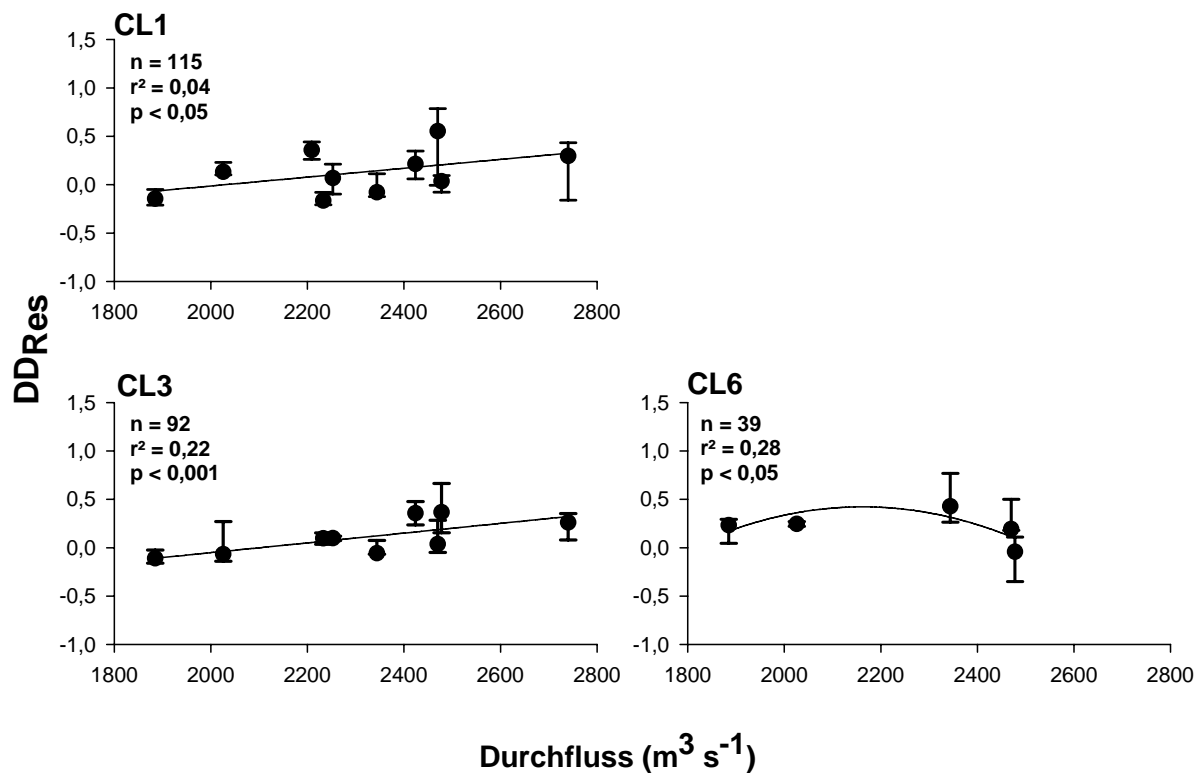


Abbildung 30: Driftdynamik der Cypriniden - Entwicklungsstadien bei zunehmendem Durchfluss. CL1, CL3: $f = Y_0 + ax$. CL1 ($y = -0,51 \pm 0,30$, $a = 0,0003 \pm 0,0001$), CL3 ($y = 0,97 \pm 0,22$, $a = 0,0005 \pm 9,6E-005$).

3.7.2 Wassertiefe

Die Wassertiefe hatte einen signifikanten Einfluss auf die Driftdichten der Perciden und Cottiden. Für beide Familien war eine signifikante lineare Abnahme der Driftdichten bei zunehmender Wassertiefe gegeben, wobei das Bestimmtheitsmaß im Falle der Cottiden deutlich höher war (Abb.31). Bei den Cypriniden, für die keine generelle Abhängigkeit zwischen der Wassertiefe und der Anzahl driftender Individuen gefunden wurde, zeigten dafür einzelne Entwicklungsstadien signifikante Tiefenmuster in ihrer Drift (Abb.32). Sowohl ältere Larven (CL5, CL6), als auch juvenile Cypriniden drifteten signifikant häufiger in seichteren Abschnitten der Uferzone. Derselbe Trend war auch für ältere Percidenstadien (L6, PJ1), und auf höherem Signifikanzniveau für das Stadium PL1 gegeben (Abb.33).

Bei den Gobiiden wurde kein Zusammenhang zwischen der Driftdichte und einem Tiefengradienten am Schotterufer festgestellt.

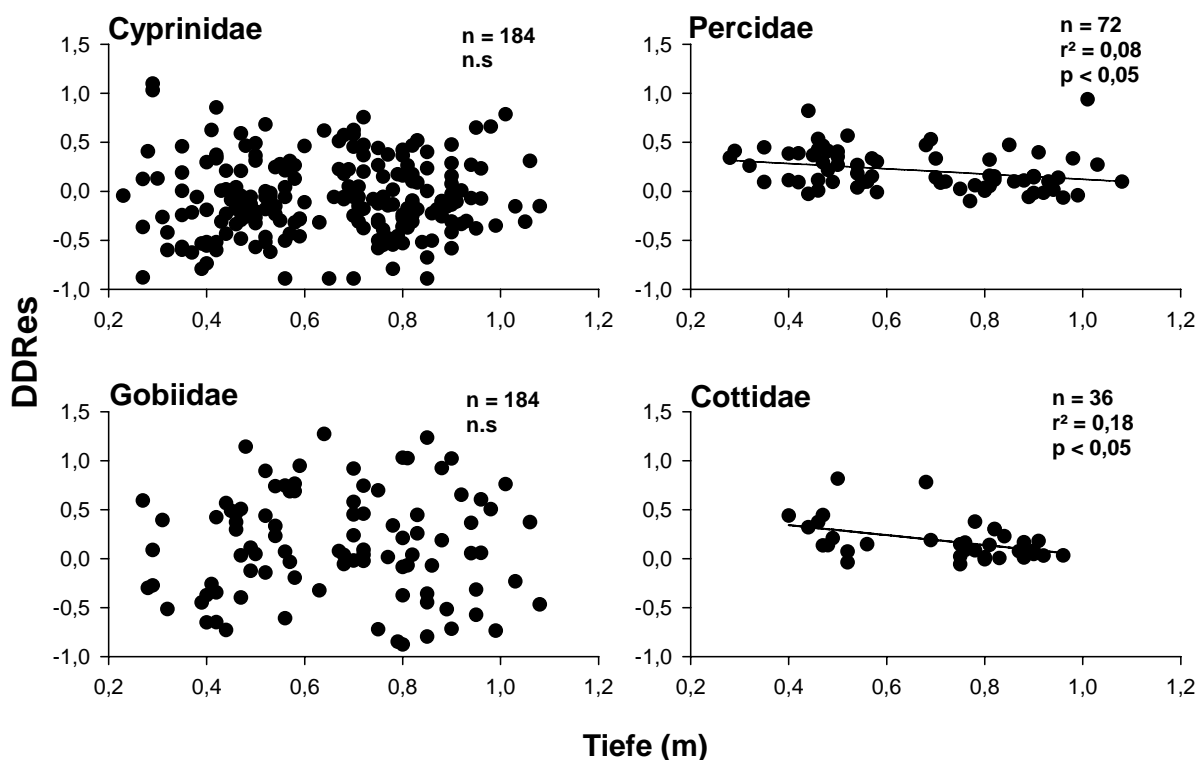


Abbildung 31: Variabilität der Driftdichte in Abhängigkeit von der Wassertiefe für die unterschiedlichen Familien.

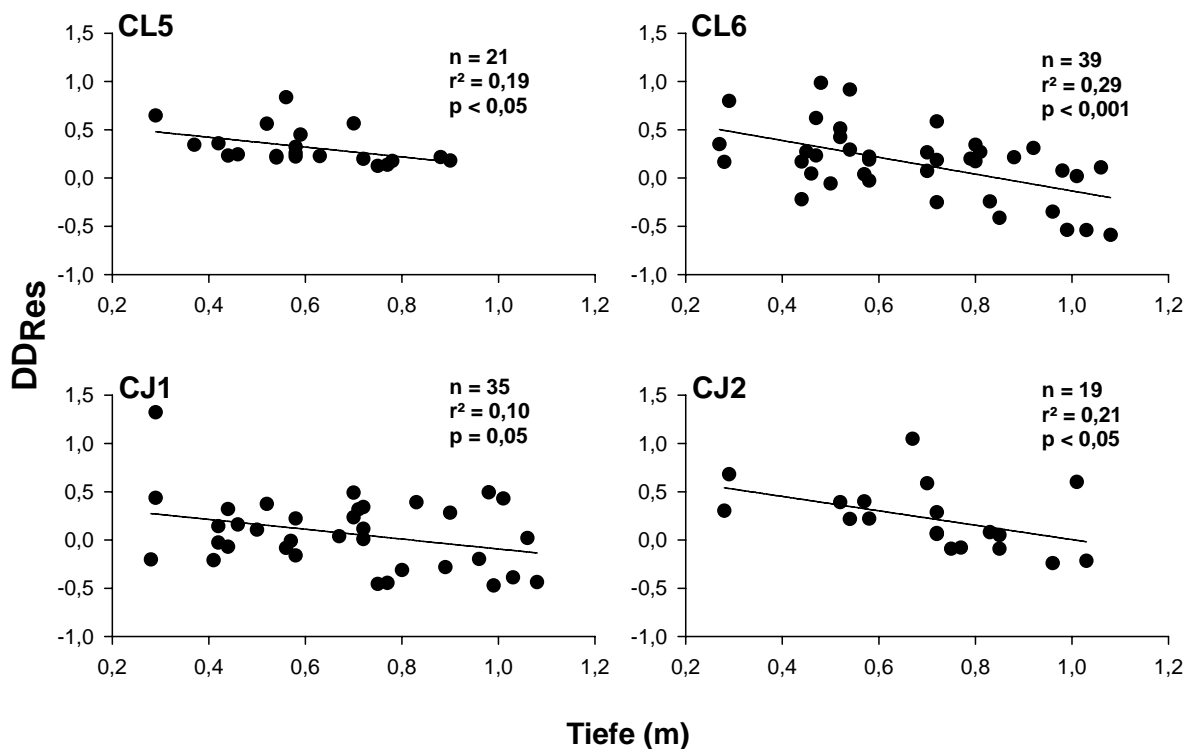


Abbildung 32: Variabilität der Driftdichte in Abhängigkeit von der Wassertiefe für einzelne Entwicklungsstadien der Cypriniden. Alle: $f = Y_0 + ax$. CL5 ($a = -0,5 \pm 0,23$), CL6 ($a = -0,87 \pm 0,22$), CJ1 ($a = -0,51 \pm 0,25$), CJ2 ($a = -0,74 \pm 0,34$).

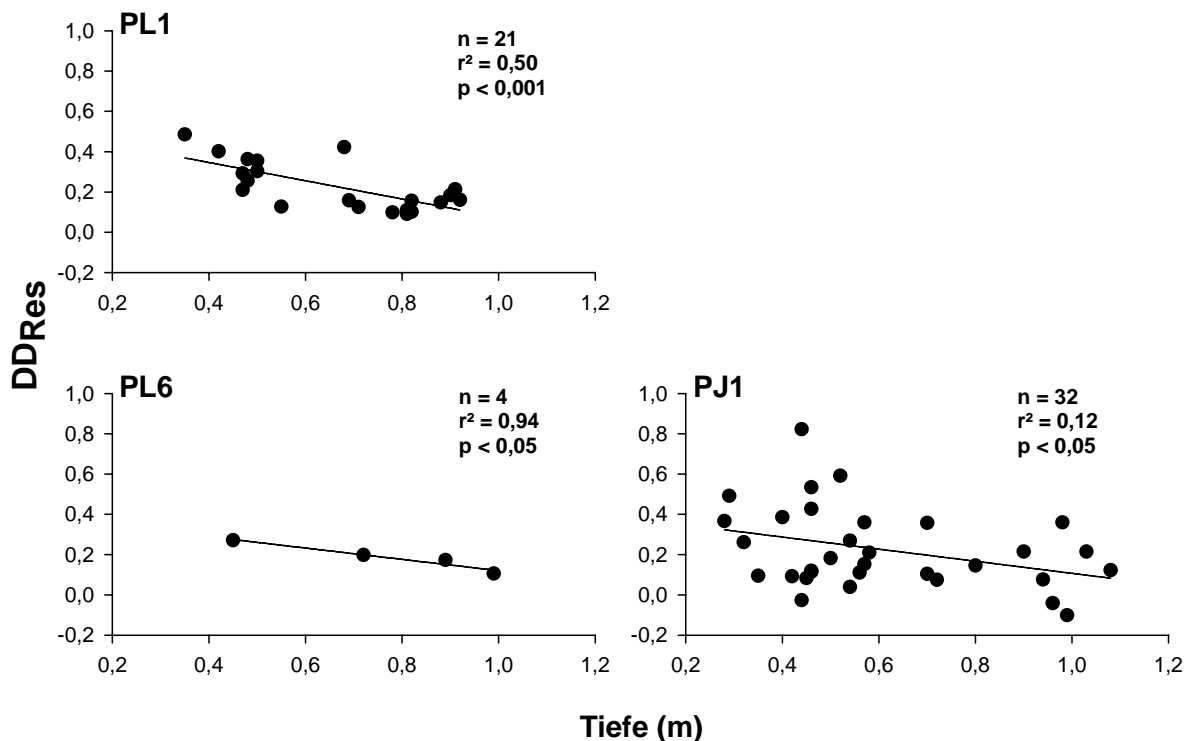


Abbildung 33: Variabilität der Driftdichte in Abhängigkeit von der Wassertiefe für 3 Entwicklungsstadien der Perciden. Alle: $f = Y_0 + ax$. PL1 ($a = -0,45 \pm 0,10$), PL6 ($a = -0,28 \pm 0,04$), PJ1 ($a = -0,30 \pm 0,14$).

3.7.3 Fließgeschwindigkeit

Die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten, bei denen Individuen der vier Familien drifteten, unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($F_{(3-385)} = 0,254$, $p = 0,83$). Bei den Perciden und Cottiden war aber eine deutliche Abhängigkeit der Driftdichte von einem Rheogradienten gegeben. Bei beiden Familien nahm die Abundanz der driftenden Fische bei zunehmender Fließgeschwindigkeit signifikant linear ab (Abb.34). Einen ähnlichen Trend, wenn auch nicht signifikant, gab es bei den Cypriniden. Die Gobiiden drifteten ohne erkennbares Strömungsmuster.

Die Unterschiede der mittleren Fließgeschwindigkeiten waren auch für Entwicklungsstadien der Cypriniden ($F_{(7-460)} = 1,26$, $p = 0,26$) und Perciden ($F_{(5-78)} = 1,12$, $p = 0,30$) nicht signifikant. Obwohl für sämtliche Stadien ein Trend in Richtung abnehmender Driftdichte bei zunehmender Strömung angedeutet war, ergaben sich diesbezüglich keine signifikanten Zusammenhänge.

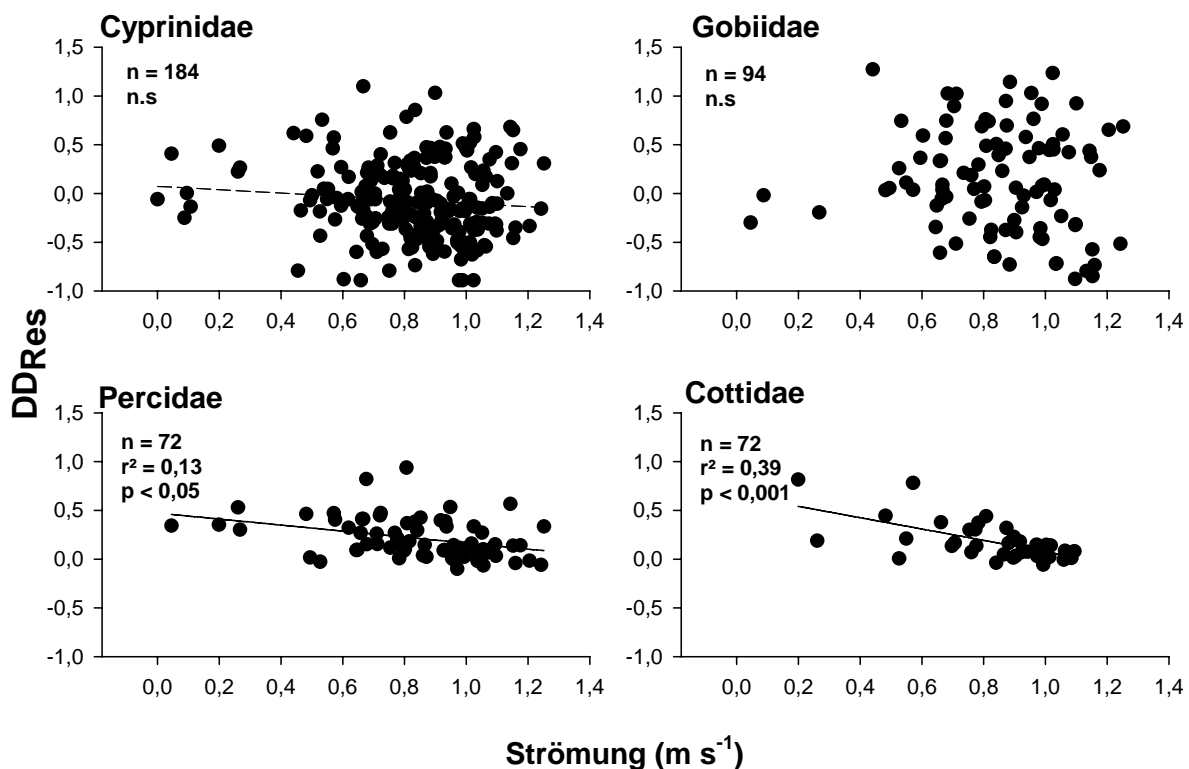


Abbildung 34: Abhängigkeit der Jungfischdrift von den herrschenden Strömungsverhältnissen. Percidae und Cottidae: $f = Y_0 + ax$. Cottidae ($Y_0 = 0,65 \pm 0,10$, $a = -0,58 \pm 0,12$), Percidae ($Y_0 = 0,47 \pm 0,08$, $a = -0,30 \pm 0,009$).

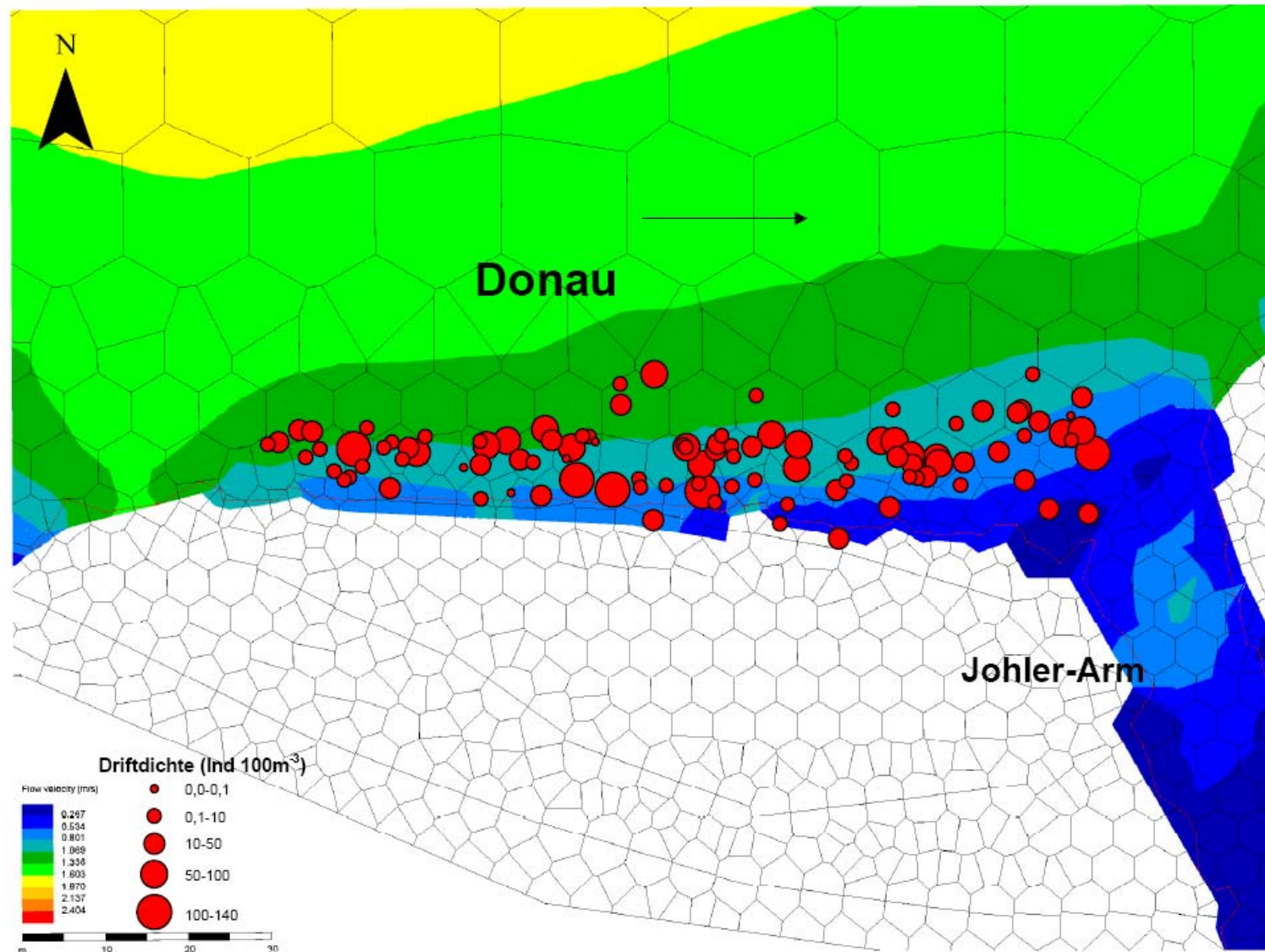


Abbildung 35: Modelldarstellung der Strömungsverhältnisse am Schotterufer mit Position und Driftdichte für sämtliche gesetzten Netze.

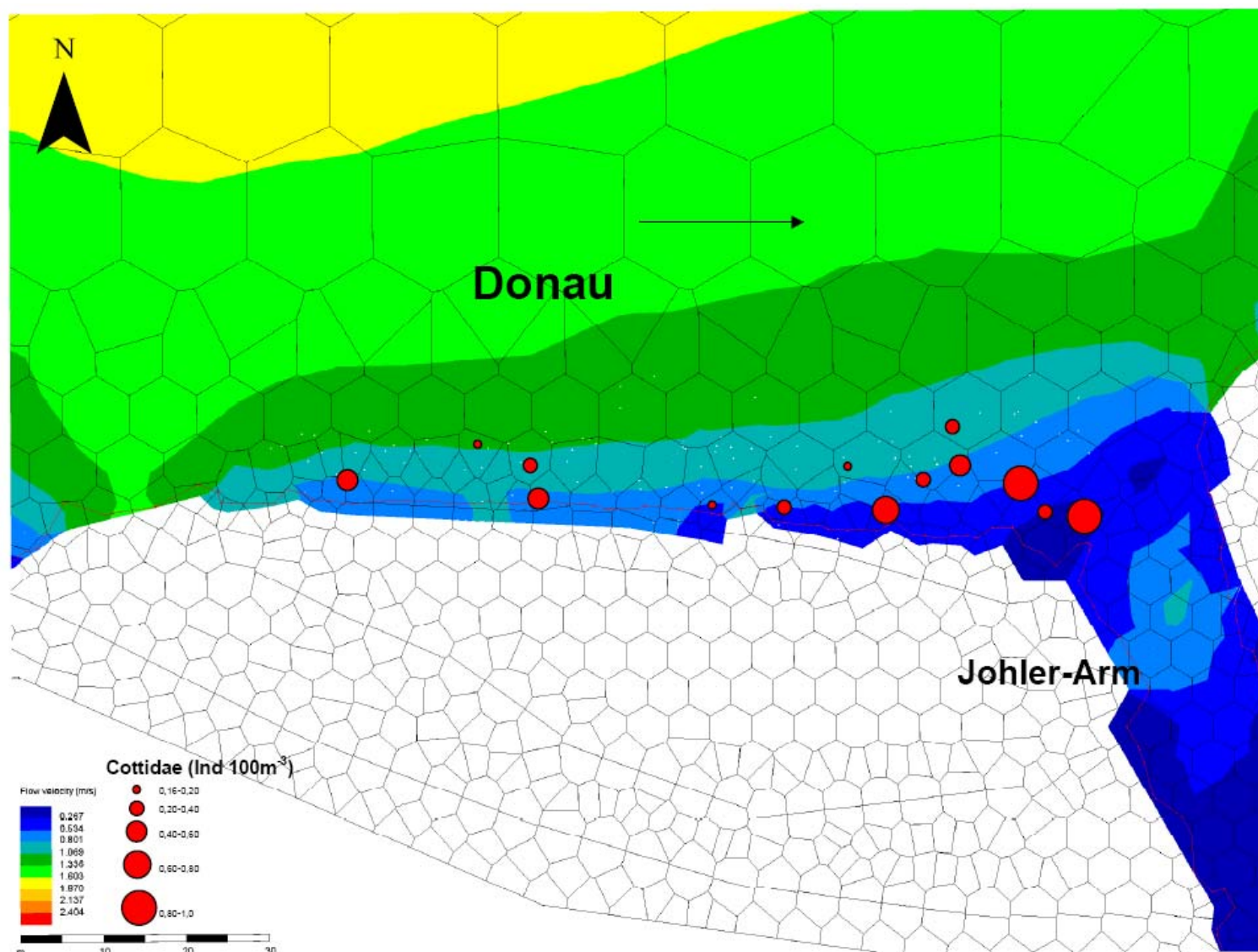


Abbildung 36: Position und Dichte der driftenden Cottiden im modellierten Strömungsgradienten. Auch dargestellt: Rechennetz aus Hexagonen.

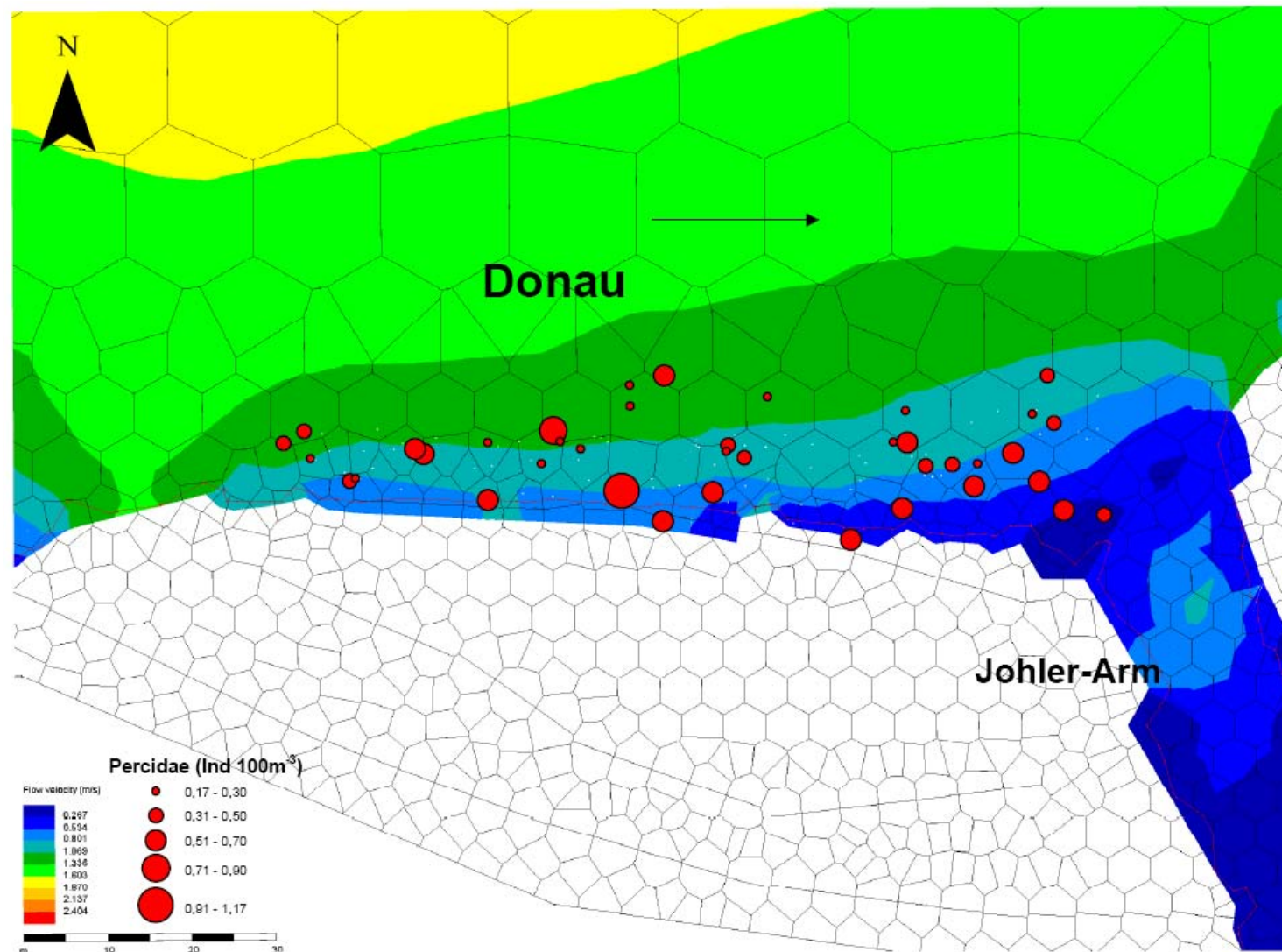


Abbildung 37: Position und Dichte der driftenden Perciden im modellierten Strömungsgradienten.

3.7.4 Uferentfernung

Eine generelle Vermeidung oder Präferenz ufernaher bzw. uferferner Bereiche wurde für Cypriniden, Cottiden, Perciden und Gobiiden nicht beobachtet. Individuen aller vier Familien waren in Entfernungen von 0,5 bis zumindest 14 m vom Ufer in den Driftnetzen vertreten. Lediglich die Cypriniden wiesen ein signifikantes Muster in ihrer Verteilung, mit leicht abnehmenden Driftdichten in uferfernen Bereichen, auf (Abb. 38).

Ein lateraler Gradient der Driftdichte war innerhalb der Cypriniden für die Stadien L1 und J2 gegeben. Während die Abundanz der jungen Larven signifikant mit der Entfernung zum Ufer abnahm, war bei den älteren Juvenilen ein gegenläufiger Trend (mit Tendenz zur Signifikanz) zu erkennen (Abb.39). Höhere Abundanzen in der Drift schienen bei ihnen mit einer zunehmenden Uferentfernung zusammenzufallen.

Obwohl die Verteilung der Stadien PL1 und PL2 andeutete, dass junge Percidenlarven auch vermehrt in Ufernähe drifteten, sind die Zusammenhänge nicht signifikant (Abb.40).

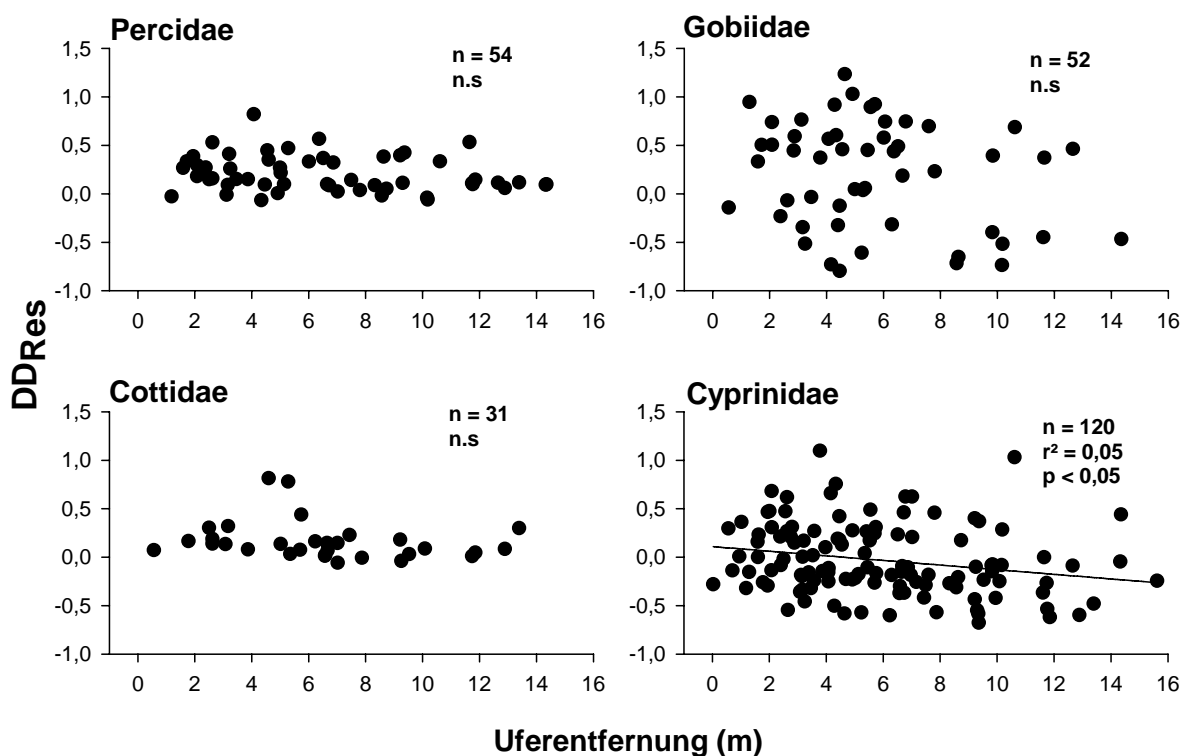


Abbildung 38: Driftdichten der Familien in Abhängigkeit von der Uferentfernung. Cyprinidae: $f = Y_0 + ax$ ($Y_0 = 0,11 \pm 0,06$, $a = -0,02 \pm 0,009$).

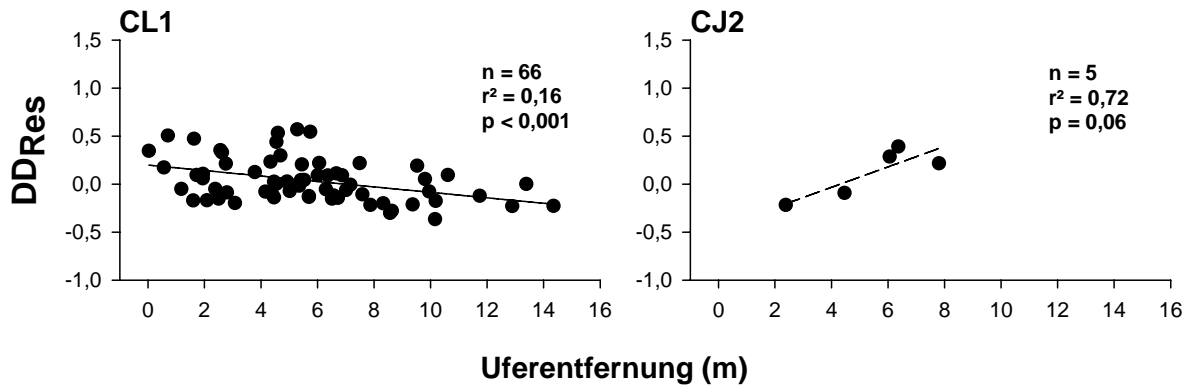


Abbildung 39: Driftdichten von zwei Entwicklungsstadien der Cypriniden in Abhängigkeit von der Uferentfernung. Alle: $f = Y_0 + ax$, CL1 ($Y_0 = 0,19 \pm 0,05$, $a = -0,028 \pm 0,008$), CJ2 ($Y_0 = -0,45 \pm 0,21$, $a = 0,10 \pm 0,03$)

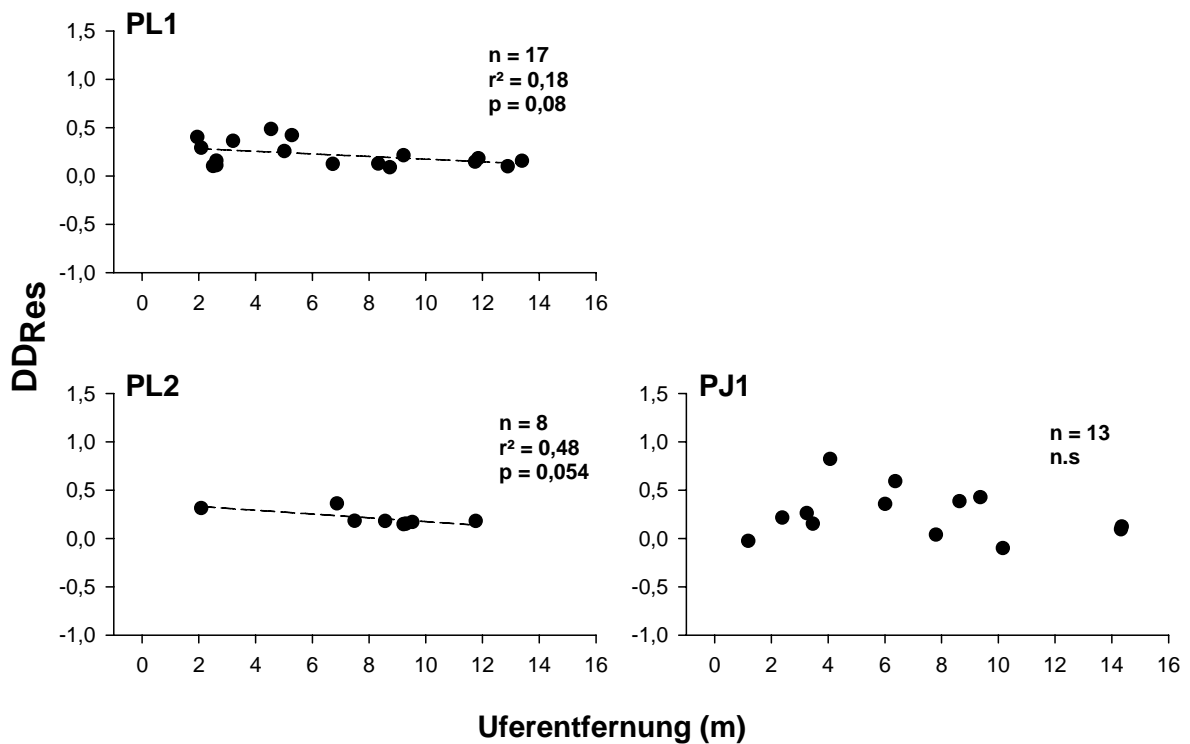


Abbildung 40: Driftdichten von drei Entwicklungsstadien der Perciden in Abhängigkeit von der Uferentfernung. Alle: $f = Y_0 + ax$, PL1 ($Y_0 = 0,3 \pm 0,05$, $a = -0,01 \pm 0,007$), PL2 ($Y_0 = 0,03 \pm 0,07$, $a = -0,01 \pm 0,008$).

3.7.5 Sohlschubspannung (TAU)

Die Cottiden waren die einzige Familie, bei der sich ein Teil der Variabilität in der Driftdichte mit der Sohlschubspannung erklären ließ. Die Anzahl der Individuen pro Volumeneinheit gefiltertem Wasser nahm signifikant linear mit einer Zunahme der Sohlschubspannung ab (Abb.41). In Abbildung 42 werden Position und Dichte der driftenden Cottiden in einem modellierten Gradienten der Sohlschubspannung am untersuchten Schotterufer dargestellt.

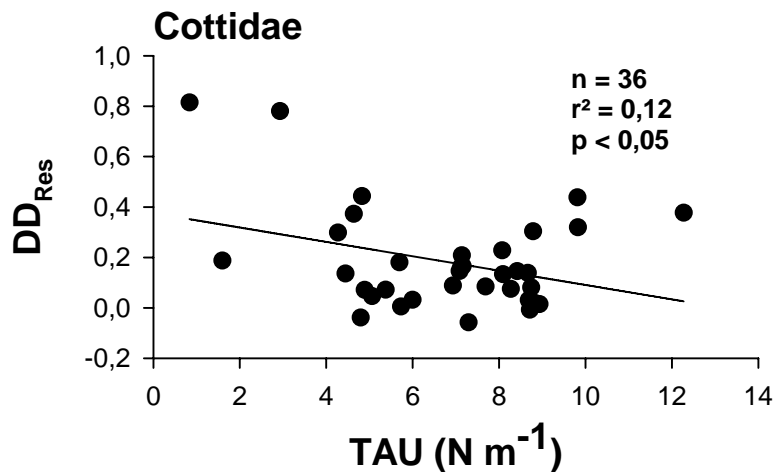


Abbildung 41: Abhängigkeit der Driftdichte von der Sohlschubspannung bei den Cottiden.
 $f = Y_0 + ax$ ($Y_0 = 0,37 \pm 0,09$, $a = -0,02 \pm 0,01$).

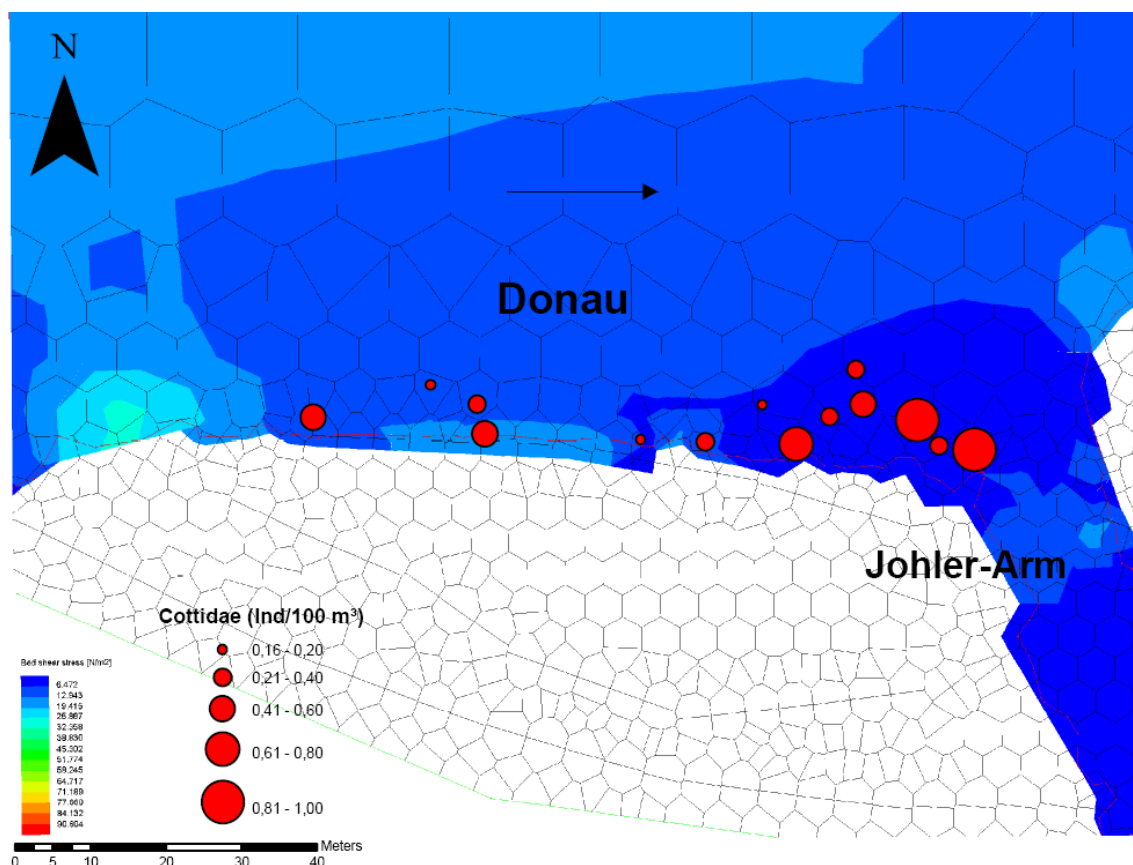


Abbildung 42: Sohlschubspannungsgradient mit Dichte und Position driftender Cottiden.

3.7.6 Multivariate Analyse

Die multivariate Analyse umfasste lineare Regressionen, wobei sich die unabhängige Variable jeweils aus den hydrophysikalischen Parametern Durchfluss, Wassertiefe, Strömung und Sohlschubspannung zusammensetzte. Generell konnte nur ein geringer Teil der Variabilität der Driftdichten mit den Umweltfaktoren erklärt werden. Signifikante Ergebnisse gab es für die Cottiden und die Cypriniden, sowie für das dritte Larvenstadium der Cypriniden. Bei den Cypriniden und dem Stadium CL3 war nur der Durchfluss signifikant positiv mit der Driftdichte korreliert. Dabei ist auf die äußerst geringen b-Werte zu achten (Tab.6, Tab.7). Bei den Cottiden ließen sich 19% der Variabilität mit den vier Einflussvariablen erklären. Signifikant waren die Korrelationen mit dem Durchfluss (positiv) und der Fließgeschwindigkeit (negativ).

Tabelle 6: Lineare Regression 1. Abhängige Variable: Driftdichte Cyprinidae
 $p < 0,001$, $r^2 = 0,13$.

Einflussvariablen	B	Standardfehler	Signifikanz
Wassertiefe	-0,180	0,132	0,893
Strömung	-0,236	0,142	0,098
TAU	-0,003	0,012	0,778
Durchfluss	0,001	0,000	0,000

Tabelle 7: Lineare Regression 2. Abhängige Variable: Driftdichte CL3.
 $p < 0,001$, $r^2 = 0,13$.

Einflussvariablen	B	Standardfehler	Signifikanz
Wassertiefe	0,051	0,093	0,581
Strömung	-0,193	0,100	0,054
TAU	-0,004	0,008	0,604
Durchfluss	0,000	0,000	0,000

Tabelle 8: Lineare Regression 3. Abhängige Variable: Driftdichte Cottidae.
 $p < 0,001$, $r^2 = 0,19$.

Einflussvariablen	B	Standardfehler	Signifikanz
Wassertiefe	-0,091	0,075	0,230
Strömung	-0,324	0,081	0,000
TAU	0,000	0,007	0,991
Durchfluss	0,000	0,000	0,006

3.8 Korrelation der Standardlänge mit den hydrophysikalischen Parametern

3.8.1 Durchfluss

Wie man in Abbildung 43 sehen kann, gab es keinen signifikanten Einfluss der Wasserführung auf die Länge der driftenden Individuen. Trotz der Absenz eines allgemeinen Musters hinter der Längenverteilung fällt auf, dass die größeren Perciden vor allem bei höheren Durchflüssen ($2470 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ bzw. $2478 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) sowie dem niedrigsten gemessenen Durchfluss ($1885 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) drifteten. Die Mediane der Standardlänge an den entsprechenden Probetagen lagen bei 20,4 mm, 22,8 mm bzw. 17,8 mm. Bei den restlichen Durchflüssen bewegte sich der Median zwischen 5,9 und 12 mm.

3.8.2 Fließgeschwindigkeit

Cypriniden und Gobiiden zeigten eine sehr homogene Längenverteilung über die gemessenen Strömungsklassen (Abb.44). Bei keiner der beiden Familien gab es signifikante Effekte der Fließgeschwindigkeit auf die Fischlänge. Eine Neigung oder Anfälligkeit bestimmter Größenklassen bei gewissen Strömungsgeschwindigkeiten in die Drift zu gehen oder ausgewaschen zu werden, konnte auch bei den Cottiden nicht festgestellt werden, obwohl der Median der Standardlänge bei Strömungen von $0,6\text{-}0,7 \text{ m s}^{-1}$ mit 8,2 mm etwas höher war als bei den übrigen Klassen (Mediane von 5,3-7,2 mm). Die kleinsten Perciden drifteten bei sehr niedrigen ($0,1\text{-}0,2 \text{ m s}^{-1}$, Median: 5,9 mm) und sehr hohen ($0,7\text{-}0,8 \text{ m s}^{-1}$, Median: 8,9 mm) Fließgeschwindigkeiten. Die deutlich größten Perciden wurden in der Strömungsklasse $0,3\text{-}0,4 \text{ m s}^{-1}$ gefangen (Median: 19,3 mm).

3.8.3 Uferentfernung

Eine zunehmende Uferentfernung hatte keine signifikanten Auswirkungen auf die Länge der gefangenen Cypriniden, Perciden und Gobiiden. Die Standardlänge der Cottiden nahm hingegen mit der lateralen Distanz zum Ufer zu (Abb.45). Die durchschnittlich größten Koppen (Median: 7,5) drifteten 9-12 m vom Ufer entfernt. In Abständen von bis zu 3 m vom Ufer lag der Median vergleichsweise 2 mm darunter.

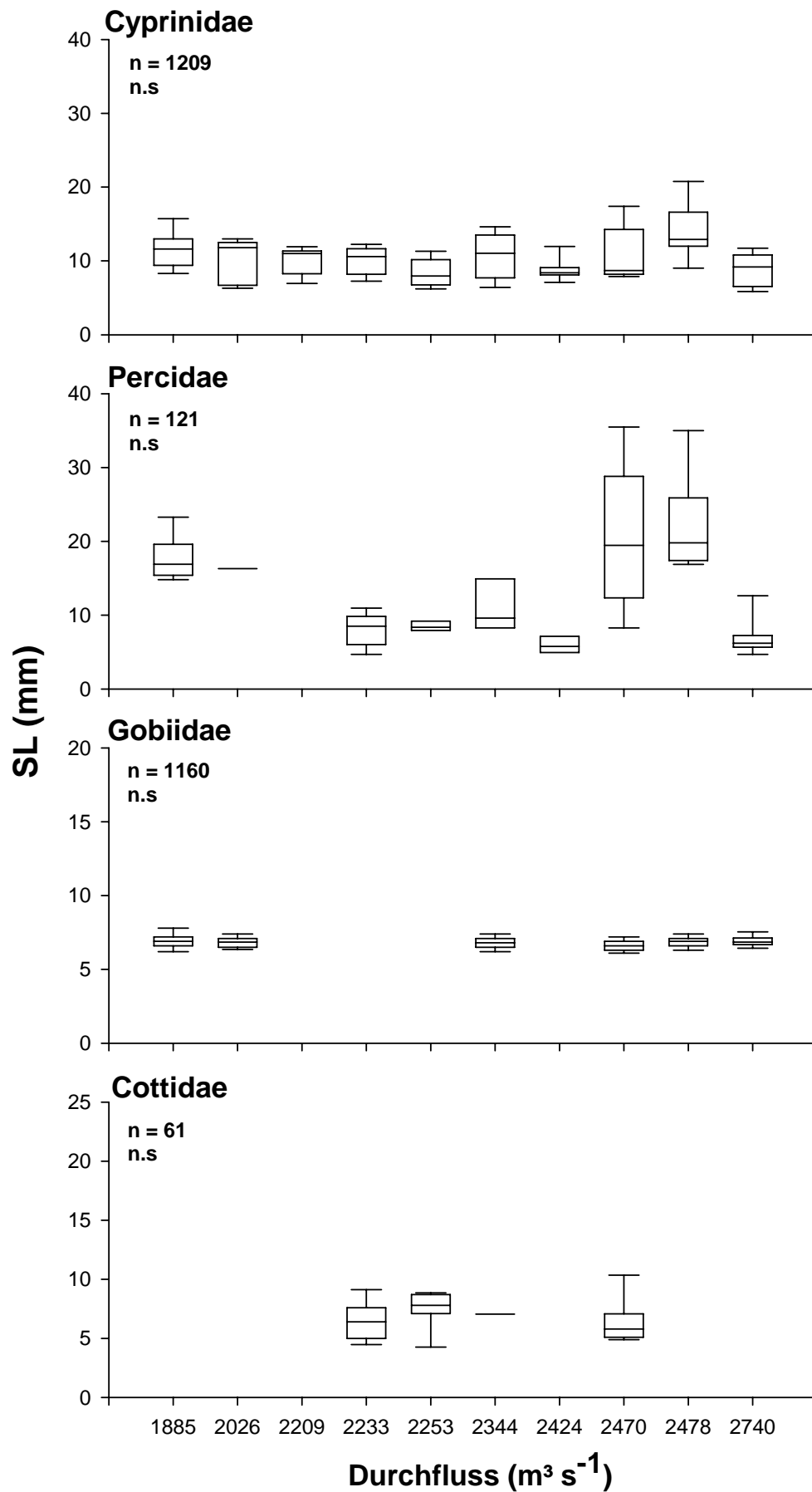


Abbildung 43: Größenzusammensetzung der Fische in mm SL bei unterschiedlichen Durchflüssen.

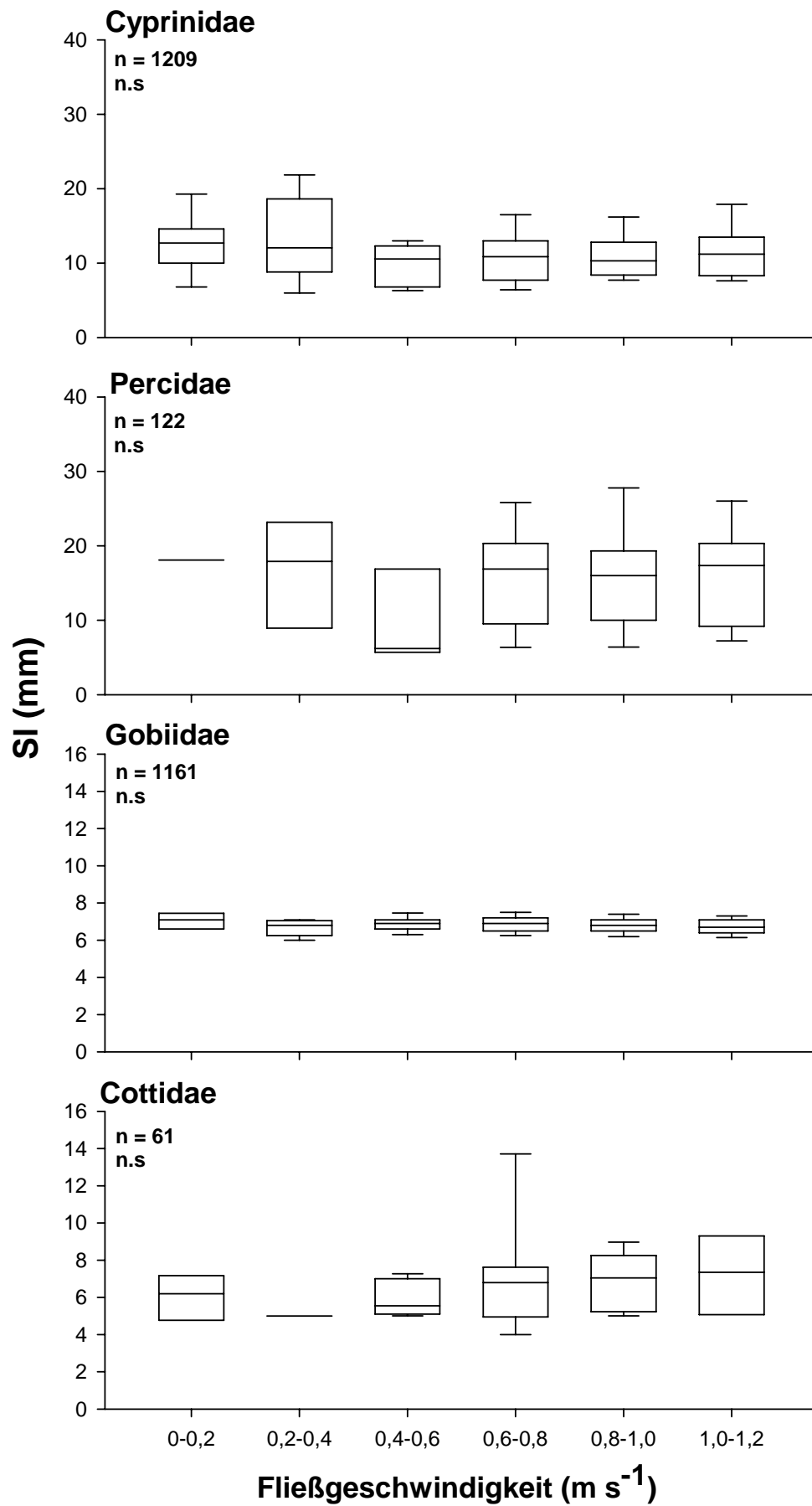


Abbildung 44: Größenzusammensetzung der Fische in mm SL bei unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten.

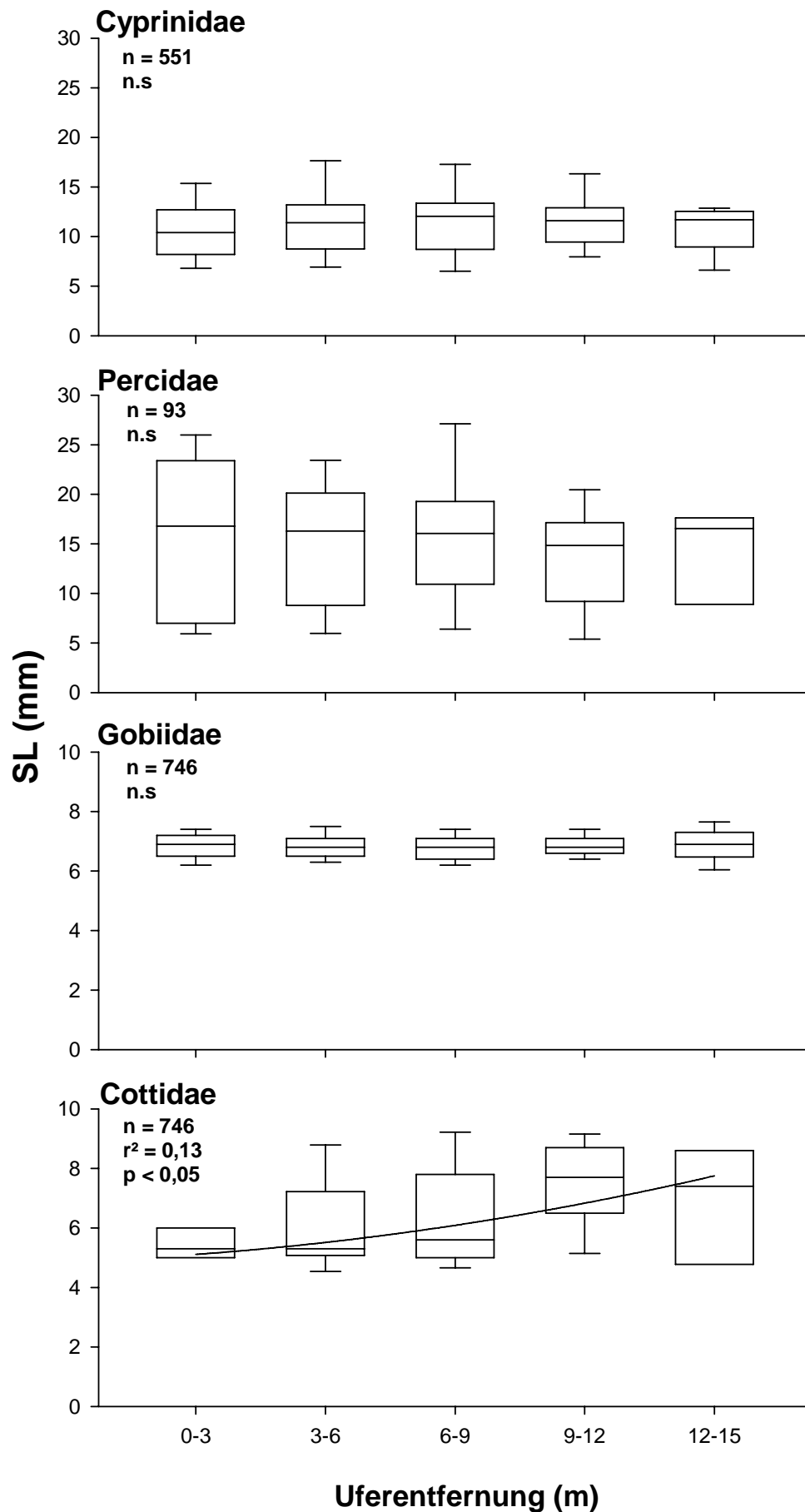


Abbildung 45: Größenzusammensetzung der Fische in mm SL bei unterschiedlichen Uferentfernungen. Cottidae: $f = Y_0 + ax + bx^2$ ($a = 0,27 \pm 0,26$, $b = -0,007 \pm 0,016$).

4 Diskussion

4.1 Saisonalität der Drift

Die höchsten Driftdichten im saisonalen Verlauf treten für gewöhnlich in den ersten Wochen nach dem Schlüpfen auf, was in temperaten Tieflandflüssen der nördlichen Hemisphäre, so auch in der Donau, zu Driftmaxima in den Monaten Juni oder Juli führt (Reichard et al 2004b). In Flüssen mit einer diversen Fischfauna findet man meist bi- oder multimodale Driftmuster, die sich aus den zeitlich versetzten Driftspitzen einzelner Taxa ergeben (Reichard 2002b). Ein unimodaler Verlauf hingegen ist charakteristisch, wenn einzelne Arten in der Drift dominieren (Jurajda 1998). Das eingipfelige Muster in der artenreichen Donau, mit einer breiten Driftspitze von Anfang bis Mitte Juni ergab sich durch eine zeitliche Überlappung von Driftmaxima auf Familienniveau. Der Zeitpunkt, wann bestimmte Familien und Entwicklungsstadien in der Drift auftauchen, ist eine Funktion der Laichzeit und wird stark von der Wassertemperatur beeinflusst (Reichard 2002b). Das kontinuierliche Auftreten junger Cyprinidenlarven über den Untersuchungszeitraum ist daher ein Indiz für die hohe Artenzahl dieser Familie in der Donau bzw. die unterschiedlichen Temperaturpräferenzen der einzelnen Arten hinsichtlich ihrer Reproduktion (ausgedehnte Laichsaison).

Tabelle 9: Cyprinidenarten der österreichischen Donau mit Angabe der Laichperiode.

Art	Deutsch	Laichperiode	Temperatur	Quelle
<i>Abramis ballerus</i> , L.	Zope	April-Mai	k.A	
<i>Abramis sapa</i> , Pallas	Zobel	April-Mai	k.A	
<i>Aspius aspius</i> , L.	Schied	April-Mai	7-12°C	Kujawa et al.1999
<i>Alburnus alburnus</i> , L.	Laube	April-Juni	k.A	
<i>Abramis bjoerkna</i> , L.	Güster	Mai-Juni	k.A	
<i>Alburnoides bipunctatus</i> , Bloch	Schneider	Mai-Juni	>12°C	Bless 1992
<i>Abramis brama</i> , L.	Brachse	Mai-Juli	17-20°C	Kujawa et al.1999
<i>Barbus barbus</i> , L.	Barbe	Mai-Juli	>13°C	Baras et al.2005
<i>Chondrostoma nasus</i> , L.	Nase	März-April	8-12 °C	Keckeis 2001
<i>Carassius auratus gibelio</i> , Bloch	Giebel	Mai-Juni	k.A	
<i>Cyprinus carpio</i> , L.	Karpfen	Mai-August	18-23°C	Kujawa et al.1999
<i>Gobio gobio</i> , L.	Gründling	Mai-Juni	k.A	
<i>Gobio kessleri</i> , Dybofski	Kessler-Gründling	Mai-Juni	k.A	
<i>Gobio uranoscopus</i> , Agassiz	Steingreßling	Mai-Juni	k.A	
<i>Leuciscus leuciscus</i> , L.	Hasel	März-Mai	9-12°C	Kujawa et al.1999
<i>Leuciscus idus</i> , L.	Nerfling	April-Juni	10-15°C	Kujawa et al.1999
<i>Pelecus cultratus</i> , L.	Sichling	Mai-Juli	k.A	
<i>Rutilus rutilus</i> , L.	Rotaugen	April-Mai	8-19°C	Nöges et al.2005
<i>Rutilus pigus virgo</i> , Heckel	Frauenervling	April-Mai	k.A	
<i>Rhodeus sericeus</i> , L.	Bitterling	April-Juni	k.A	
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> , L.	Rotfeder	April-Mai	18-22°C	Kujawa et al.1999
<i>Squalius cephalus</i> , L.	Aitel	April-Juni	9-15°C	Kujawa et al.1999
<i>Tinca tinca</i> , L.	Schleie	April-August	17-23°C	Kujawa et al.1999
<i>Vimba vimba</i> , L.	Rußnase	Mai-August	k.A	

Die österreichische Donau beherbergt 29 Cyprinidenarten (Schiemer & Spindler 1989). In Tabelle 9 sind jene angeführt, die unter Berücksichtigung ihrer Laichperioden während der Probennahme in der Drift vertreten hätten sein können. Des Weiteren wirkten sich wahrscheinlich multiple Laichereignisse einzelner Arten (*Abramis brama*, *Alburnus alburnus*, *Barbus barbus*, *Aspius aspius*, *Gobio spp.*, *Rutilus rutilus*, Zitek et al. 2004b) auf die saisonale Verteilung der jungen Stadien aus.

Die geringere Artenzahl (8, Schiemer & Spindler 1989) der Perciden und ähnliche Temperaturansprüche der Adulten bei der Reproduktion können das Zeitfenster, in dem Laichereignisse stattfinden und in der Folge die ersten Jungfische in der Drift auftreten, einengen.

4.2 Zusammensetzung des Fangs

Grundsätzlich ist zu sagen, dass die Unterschiede in den Driftdichten der Familien auf einer Vielzahl von Faktoren beruhen können. Dabei ist neben Unterschieden im Fortpflanzungserfolg (Reichard 2002b) und der Größe der Laichpopulation (Johnston et al 1995) vor allem die lokale Verfügbarkeit von Laichhabitaten zu nennen. Mit zunehmender Entfernung vom Laichplatz nimmt die Driftdichte ab und die Individuen befinden sich in einem fortgeschritteneren Entwicklungszustand (Pavlov 1994). Uniforme Driftdichten einzelner Arten und Familien entlang eines longitudinalen Gradienten zeigen eine relativ breite Nutzung von Laichhabitaten an (Zitek 2004a, Pavlov 1994).

Von den Familien, die im Zuge der Probennahmen gefangen wurden, wiesen die Gobiiden mit $0,72 \text{ Individuen} \cdot 100\text{m}^{-3}$ die höchste mittlere Driftdichte auf. Dieses Ergebnis deckt sich mit Untersuchungen am Marchfeldkanal (künstlich geschaffener Seitenarm der Donau) (Zitek et al 2004b), bei denen die marmorierte Grundel (*Proterorhinus marmoratus*) als dominante Art in der Drift auftrat. Der Autor führte den Erfolg dieser Art, die erstmals 1957 in Österreich beschrieben wurde, neben kontinuierlichem Abbläuen auf die Nutzung der Drift als opportunistische Verbreitungsstrategie zurück. Die einheitlichen Längen der gefangenen Gobiiden und ihr Driften „en masse“ deuten eventuell darauf hin, dass es sich um Individuen derselben Brut handelt. Da die Driftdynamik der Gobiiden mit keinem der gemessenen Umweltparameter korrelierte, ist der flussabwärtsgerichtete Transport der Jungfische vielleicht als dichteabhängiges Phänomen zu interpretieren. Humphries (2005) vermutet, dass die dichte Aggregation der Fische am Laichplatz ab dem Einsetzen der exogenen Ernährung (beginnt bei Gobiiden bereits in der embryonalen Phase, Penaz 2001) zu Nahrungsknappheit, Konkurrenz und in Folge einem massenhaften Eintritt der Fische in die Drift führen kann.

Nicht auszuschließen ist die Möglichkeit, dass die Gobiidendrift eine stadiumabhängige, verhaltensgesteuerte Reaktion auf einen Umweltparameter (z.B. Illumination: Iguchi & Mizuno 1991) ist, der bei dieser Arbeit nicht untersucht wurde. Die Annahme, dass eine Driftvermeidung typisch für benthische Arten ist (Pavlov 1994), wird von den vorliegenden Ergebnissen aber nicht gestützt.

Die mittlere Driftdichte der Cypriniden war mit $0,62 \text{ Individuen} \cdot 100\text{m}^{-3}$ etwas geringer als bei den Gobiiden, aber deutlich höher als bei den Perciden ($0,14 \text{ Ind.} \cdot 100\text{m}^{-3}$) und den Cottiden ($0,09 \text{ Ind.} \cdot 100\text{m}^{-3}$), ein Umstand, der unter anderem wieder auf die hohe Artenzahl der Cypriniden in der österreichischen Donau zurückzuführen ist. Hinzu kommt, dass die meisten Karpfenartigen der rheophilen Gilde zuzuordnen sind, deren Laichgründe und Jungfischhabitate hauptsächlich an den Uferzonen des Hauptkanals liegen (Schiemer & Spindler 1989). Die Cottiden sind lediglich mit einer Art (*Cottus gobio*) in der Donau vertreten. Abgesehen davon könnte die sehr geringe Abundanz von *C.gobio* aber auch darauf hindeuten, dass die Driftspitze schon früher in der Saison auftrat und in dieser Arbeit nicht erfasst wurde. Die Laichzeit der Koppe kann in produktiven Gewässern schon Anfang Februar beginnen (Zbinden et al. 2004).

Für die Familien Percidae und Cyprinidae konnte gezeigt werden, dass die Driftdichte mit dem Entwicklungsstadium korreliert ist. Eine stadiumabhängige Drift deutet entweder auf eine aktive Komponente im Driteintritt hin (Pavlov 1994) oder reflektiert bloß die Anfälligkeit bestimmter Stadien, von der Strömung erfasst zu werden (Reichard & Jurajda 2007). Bei den Cypriniden gehörten 37% der gefangenen Individuen dem ersten Larvenstadium an. Die ökologische Wichtigkeit einer initialen Verbreitungsdrift bei dieser Familie wurde schon von Zitek (2004a) gezeigt, der 61% der gefangenen Cypriniden dem L1-Stadium zuordnete. In dieser Entwicklungsphase steigen die Fische auf eine exogene Nahrungsaufnahme um und die hohen Dichten könnten das Ergebnis einer Risikoerhöhung durch Zusammenfall von Fressaktivität und hohen Strömungsgeschwindigkeiten sein (Brown & Armstrong 1985). Bei der Nase (*Chondrostoma nasus*), einer charakteristischen Art des Hyporithrals großer europäischer Flüsse, ist die Zeit des Driftens auf einen kurzen Abschnitt der Ontogenie (E9 bis L1) beschränkt (Hofer & Kirchhofer 1996). Die Fische entwickeln in dieser Phase eine indifferente phototaktische Reaktion, steigen vom Sediment auf und werden via Drift in die Litoralzonen transportiert (Schiemer et al. 2003, Persat & Oliver 1995). In der Donau traten Cypriniden auch häufig im dritten Larvenstadium (23%) und am Übergang von L6 zu J1 auf (zusammen 18%). Diese Entwicklungsphasen fallen mit signifikanten Änderungen der Schwimmleistung zusammen. Bei den meisten Cypriniden füllt sich im Stadium L3 die anteriore Kammer der

Schwimmbase mit Luft, was die Fische, trotz eingeschränkter Manövrierfähigkeit aufgrund der fehlenden Brustflossen und des großen Flossensaums, zu einer aktiven Bewegung befähigt (Penaz 2001). Die L3-Cypriniden können aktiv in die Strömung eintreten, und ihre Drift ist eventuell eine dichteabhängige Antwort auf Konkurrenz am Laichplatz (Reichard & Jurajda 2007). Der Übergang von der larvalen in die juvenile Periode (L6/J1) fällt bei den Cypriniden mit einer deutlichen Verbesserung der Schwimmleistung (sämtliche Flossen sind ausgebildet) sowie einem Nahrungs- und Habitatshift zusammen (Copp & Kováč 1996). Drift ist ein geeignetes Transportmittel um die optimalen Habitate schnell zu erreichen (Reichard 2002a).

13% der gefangenen Cypriniden drifteten im zweiten Larvenstadium. Von der Barbe (*Barbus barbus*), einer häufigen Art in der österreichischen Donau, weiß man z.B., dass sich in diesem Stadium die anteriore Kammer der Schwimmbase füllt und die Fische eine positive Photoreaktion zeigen, was zu einem Aufstieg der Larven aus dem Sediment und dem Eintritt in die Strömung führt (Copp et al. 2002).

Fast die Hälfte (49%) aller gefangenen Perciden driftete im Stadium J1. Auch in der Studie von Mion et al. (1998) wird der Drift der Perciden vorwiegend als juvenile Migration beschrieben. Pavlov et al. (2008) untersuchte das Driftverhalten von drei Percidenarten (*Perca fluviatilis*, *Sander lucioperca*, *Gymnocephalus cernua*) in der Wolga und fand geringe Driftichten der frühen Larvenstadien. Juvenile Zander, die aufgrund ihrer hohen Wachstumsrate und motorischen Aktivität sehr anfällig auf Nahrungsentbehrung sind, verließen aber bei Verschlechterung der Verhältnisse das Habitat und traten massenhaft in die Drift ein. Eine geringe Neigung junger Percidenlarven in die Drift zu gehen, wurde auch von Zitek et al. (2004a) berichtet.

4.3 Einfluss der hydrophysikalischen Parameter auf die Driftdynamik

4.3.1 Durchfluss

Der Durchfluss ist ein fundamentaler Faktor, der Überleben und Fortpflanzungserfolg driftender Fische in Fließgewässern maßgeblich beeinflusst (Reichard & Jurajda 2004a). Durch die hohen Strömungsgeschwindigkeiten bei zunehmender Wasserführung werden die Jungfische schneller von den Laichplätzen zu den Nahrungsgründen transportiert (Moryama et al. 1998). Kollisionen mit dem Substrat durch einen Orientierungsverlust im Trüben sowie Kiemen-schädigungen durch den erhöhten Feinsediment- und Schwebstofftransport bei Hochwasser können aber auch zu beträchtlichen Mortalitätsraten bei den driftenden Fischlarven führen (Mion et al. 1998, Johnston et al. 1995). Bisherige Studien dazu haben gezeigt, dass der

Durchfluss vor allem bei wandernden Arten (Salmoniden, Coregoniden) positiv mit der Driftdichte korreliert ist (Johnston 1997), während andere Arten inklusive Cypriniden, außer bei erosiven Hochwässern (Harvey 1987, Pavlov 1994), keine derartigen Muster zeigen (Reichard & Jurajda 2004a, Humphries & Lake 2000, Corbett & Powles 1986, Zitek 2004b, Robinson et al. 1998). In der Donau konnte nur ein geringer Teil der Variabilität (7%) in der Driftdichte mit dem Durchfluss erklärt werden. Auffällig war, dass die Abundanz driftender Fische nach anfänglicher Zunahme mit der Wasserführung bei dem höchsten gemessenen Durchflusswert stark zurückging. Für den anfänglichen Anstieg mag die Tendenz der Fische verantwortlich sein, sich bei zunehmenden Durchflüssen entlang der Uferlinie aufzuhalten (Matthews 1986), wo ein Großteil der Probennahme stattfand. Eine mögliche Erklärung der abnehmenden Dichte bei der höchsten Wasserführung liefert Schiemer et al. (2001), der bei Studien an der österreichischen Donau zeigte, dass eine natürliche Uferentwicklung die Effekte von Pegelschwankungen auf die Mikrohabitatverfügbarkeit puffert. Bei hohen Durchflüssen und Flutung der angrenzenden Ufervegetation erhöht sich demnach die strukturelle Diversität und es werden Refugien für die Jungfische geschaffen.

Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen war die Driftdichte der Cypriniden höchst signifikant mit dem Durchfluss korreliert. Vor allem die Abundanzen der Stadien L1 und L3 nahmen linear mit der geführten Wassermenge zu. Für das erste Larvenstadium mag zum Teil die Unfähigkeit hohen Strömungsgeschwindigkeiten zu widerstehen, ausschlaggebend gewesen sein. Die Anfälligkeit von 0+-Fischen mit Totallängen <10mm bei hohen Durchflüssen weggespült zu werden, wurde schon von Harvey (1987) beschrieben. Reichard & Jurajda (2004) zeigten in einer Studie aber, dass für erhöhte Driftdichten bei Hochwasser nicht die Zunahme der Strömung, sondern primär die veränderten Illuminations-, und Sichtbedingungen der Schlüsselfaktor sind. Da die Sehschärfe bei Cypriniden mit der Körpergröße zunimmt (Pavlov et al. 1968) kann man davon ausgehen, dass junge Larvenstadien (CL1, CL3) im Trüben schneller die Orientierung verlieren und in Bereiche hoher Strömungen geraten. Dieser passive Driftansatz würde aber auch bedingen, dass die Standardlänge der driftenden Fische positiv mit dem Durchfluss und der Wassertrübe korreliert ist, was in dieser Studie aber nicht der Fall war.

Die lineare Zunahme driftender Koppen bei einer Durchflusserhöhung beruht womöglich auch auf den optischen Eigenschaften des Gewässers. Alternativ könnte sie aber das Resultat eines aktiven Drifteintrittes sein. Falls die Larven bei hohen Durchflüssen das Lückensystem des Bettes verlassen und orientierungslos flussabwärts treiben, wären sie für benthische Prädatoren nur schwer von den großen Mengen mitgeführter Schwebstoffe zu unterscheiden.

4.3.2 Sohlschubspannung

Änderungen der Sohlschubspannung wirkten sich auf die Driftdichten der Cottiden aus. Die speleophilen Koppen bewohnen in allen Lebensphasen die Bettsedimente der Flüsse und legen ihre Eier in Höhlen unter Steinen ab. Die Larven halten sich so lange im Interstitial auf, bis ihr Dotter komplett verbraucht ist.

Bei zunehmenden Sohlschubspannungen gerät zunächst das Feinsediment in Bewegung. Bei einer weiteren Erhöhung wird gröberes Material springend, rollend oder gleitend an der Gewässersohle fortbewegt. In der Donau können dabei durchaus die oberen 10 cm der Sohle umgelagert werden (mündliche Mitteilung, Tritthart). Die abnehmenden Driftdichten der Cottiden bei zunehmender Sohlschubspannung können mehrere Ursachen haben. Neben Auswascheffekten und einer zunehmenden Mortalitätsrate ist es möglich, dass die Cottiden bei hohen Tau-Werten Schutz in tieferen Zonen des Interstitials suchen. Des Weiteren kann es sein, dass der Geschiebetransport (v.a. Feinsediment) das Lückensystem der Sohle verlegt und ein Verlassen desselben für die Individuen erschwert wird.

4.3.3 Fließgeschwindigkeit

Ein Schlüsselfaktor für das Wachstum und Überleben larvaler und juveniler Fische in lotischen Systemen ist die Strömungsgeschwindigkeit in den seichten Buchten entlang des Ufers (Schiemer et al. 2003). Von Bedeutung ist hier unter anderem das Energiebudget der kleinen Larven (10-15 mm), deren Respirationskosten schon bei geringen Fließgeschwindigkeiten der assimilierten Energie entsprechen oder diese übersteigen (Schiemer et al. 2003). Zudem haben Experimente gezeigt, dass sich Larven unterschiedlicher Arten nicht in Strömungen halten können, die mehr als ein Drei- bis Siebenfaches ihrer Körperlänge in $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ausmachen (Webb 1975, Iguchi & Mizuno 1991, Houde 1968). Hohe Fließgeschwindigkeiten begünstigen daher das Auswaschen der Fische aus den geschützten Uferhabitaten und können zu einer beträchtlichen Dezimierung der lokalen Populationen führen (Pavlov 1994).

Die Ergebnisse dieser Arbeit unterstützen die Annahme einer passiven Verdriftung bei hohen Strömungen insofern nicht, als bei den Perciden und Cottiden eine lineare Abnahme der Abundanz mit zunehmender Fließgeschwindigkeit festgestellt werden konnte. Die Tatsache, dass derselbe Trend auch für die meisten Entwicklungsstadien der Perciden und Cypriniden zutraf, deutet vielmehr auf einen aktiven Drifteintritt hin, der von den herrschenden Strömungsverhältnissen gesteuert wird. Hinzu kommt, dass sich die mittleren Fließgeschwindigkeiten, bei denen die einzelnen Entwicklungsstadien gefangen wurden, kaum unterschieden. Da die Schwimmleistung aber linear mit der Körpergröße zunimmt (Flore et al. 2001), sollten

bei einem passiven Drift Entwicklungsgrad und Länge der Fische positiv mit der Strömungsgeschwindigkeit korreliert sein.

Die höheren Dichten driftender Fische bei niederen Fließgeschwindigkeiten reflektieren sicherlich auch ihre Habitatpräferenzen. Wie Experimente gezeigt haben, sind die Larven und Juvenilen rheophiler Cypriniden nicht in der Lage bei Strömungsgeschwindigkeiten, die ein Fünffaches ihrer Körperlänge in cm.s^{-1} übersteigen, Nahrung aufzunehmen (Flore & Keckeis 1998).

Falls die Jungfische tatsächlich aktiv das Ufer nach geeigneten Habitaten „absuchen“ (Robinson et al. 1998), wären niedrige Fließgeschwindigkeiten aufgrund der besseren Orientierungsmöglichkeit und des erleichterten Driftaustritts ebenfalls vorteilhaft. Das Ergebnis deutet aber auch die Kapazität des Schotterufers an, große Populationen von 0+-Fischen zu erhalten und sie gegen hohe Strömungen zu schützen. Möglicherweise verweilen die Jungfische zu Zeiten erhöhter Fließgeschwindigkeit aber auch in der flussaufwärts gelegenen, strömungsberuhigten Bucht.

Die Driftdichte der Cottiden nahm bei hohen Fließgeschwindigkeiten ab, was einerseits, wie diskutiert, mit den steigenden Sohlschubspannungen und einer Verlegung des Sediments zusammenhängen könnte. Abgesehen von diesem passiven Ansatz wäre es möglich, dass die Koppen bei geringer Strömung aktiv in die Drift eintreten und sich bei hohen Fließgeschwindigkeiten im Sediment verstecken bzw. aufgrund ihrer bereits früh entwickelten, großen Pectoralis in der Lage sind, auch höheren Strömungen zu widerstehen und eine Drift zu vermeiden.

4.3.4 Wassertiefe

Da die Höhe der Driftnetze nur 0,5 m betrug, wurde an tieferen Probestellen nicht die gesamte Wassersäule besammelt. Fischlarven, die knapp über dem Benthos drifteten, könnten in diesen Fällen die Netze unterwandert haben. Da die maximal gemessene Wassertiefe im Untersuchungsgebiet knapp über 1 m lag, wurde aber in etwa 60% aller Fälle zumindest 2/3 der Wassersäule beprobt.

Mit zunehmender Wassertiefe drifteten weniger Cottiden, Perciden und ältere Entwicklungsstadien der Cypriniden (L5-J2). Während nur 8% der Variabilität im Percidendrift mit der Tiefe erklärt werden konnten, war der Zusammenhang bei den Cottiden stärker ausgeprägt (18%). Vor allem in Tiefenbereichen von ≤ 50 cm, wo die Driftnetze dem Sediment aufsaßen, wurden vermehrt Koppen gefangen, was wieder auf die Reproduktionsökologie dieser Art zurückzuführen ist. Da es bei *Cottus gobio* zum Drifteintritt kommt, wenn die Individuen die

Laichhöhlen verlassen, ist davon auszugehen, dass die Fische zunächst knapp über dem Benthos transportiert werden.

Signifikante Tiefenmuster wurden auch in der Drift von älteren Larven und Juvenilen der Cypriniden gefunden, deren Driftdichten mit steigender Wassertiefe abnahmen. Für die Verteilung der driftenden Fische in einem Tiefengradienten sind auch die Habitatpräferenzen der einzelnen Stadien entscheidend. Habitatshifts sind meist ein Kompromiss zwischen Ressourcennutzung und Räubervermeidung (Gaudin 2001). Wie Schlosser (1987) vermutet, ist für juvenile Fließwasserfische vor allem die Wassertiefe entscheidend für das Prädationsrisiko. Tagsüber ist in seichten Habitaten ein hoher Raubdruck durch Wasservögel und Säugetiere gegeben und die Juvenilen suchen tiefere Habitate auf, wo der Raubdruck durch piscivore Fische geringer ist. Da die Wasservögel ihre Beute im Dunkeln nicht ausmachen können, kehren viele Juvenile in der Nacht in seichte Regionen zurück, um nun den Raubfischen im Tiefen zu entgehen. Alternativ kann angenommen werden, dass die seichten Habitate in der Nacht attraktivere Habitate zur Erholung oder zur Nahrungssuche darstellen.

4.4 Horizontale Verbreitung der driftenden Fische

Die räumliche Verteilung der driftenden Fische ist artspezifisch und hängt von den physikalischen Eigenschaften des Flusses ab (Pavlov 1994).

Da seichte, ufernahe Areale die wichtigsten Aufwuchshabitate für Fische europäischer Flüsse darstellen (Winkler et al. 1997, Baras & Nindaba 1999), ist aber davon auszugehen, dass sich das Driftgeschehen (ob passiv oder aktiv) ebenfalls hier konzentrieren wird (Reichard et al. 2004b). Tatsächlich konnte in den meisten Studien ein dementsprechendes Muster festgestellt werden (Copp & Faulkner 2002, Reichard 2004b, Robinson et al. 1998, Oesmann 2003, Brown & Armstrong 1985, Penaz et al. 1992).

Weitere Faktoren, welche die laterale Verteilung der Fischlarven beeinflussen, sind neben der Schwimmleistung der Individuen (Reichard et al. 2004b) die Wahl der Laichgründe durch die Adulten, hydraulische Effekte wie Turbulenzen, Bodentopografie, Flussmorphologie, Strömungsmuster auf unterschiedlichem Skalierungsniveau (Brown & Armstrong 1985, Pavlov et al. 1978) sowie die Habitatpräferenzen der Individuen.

Ein ausgeprägter lateraler Driftgradient war am untersuchten Abschnitt der Donau für keine der vier Familien gegeben. Bei den Cypriniden wurden lediglich 5% der Driftvariabilität mit der Uferentfernung erklärt. Allerdings ergab sich auf der Ebene der Entwicklungsstadien ein interessantes, weil gegenläufiges, Muster der lateralen Verteilung bei den Stadien CL1 und CJ2. Während die jungen Larven häufiger in Ufernähe drifteten, verhielt es sich bei den Juve-

nilen umgekehrt. Baras und Nindaba (1999) konnten zeigen, dass Larven von *Chondrostoma nasus* und *Barbus barbus* exklusiv die seichten Buchten in Ufernähe nutzen, während juvenile Individuen angrenzende Riffles in größerer Distanz zum Ufer bevorzugen. Die Autoren nehmen an, dass die Juvenilen einen höheren Nahrungsbedarf haben, der möglicherweise in den seichten Buchten nicht mehr gedeckt werden kann. Generell schwimmen Jungfische in der Nacht aber näher ans Ufer (Copp & Jurajda 1993).

Die signifikant höheren Dichten der CL1-Cypriniden in Ufernähe reflektieren womöglich ihren Bedarf an leicht verdaulicher Beute (Rotifera, Chironomidenlarven), die vornehmlich in Buchten entlang des Ufers auftritt (Reckendorfer et al. 1996). Die Fressaktivität der Cypriniden nimmt in der Nacht allerdings ab (Garner 1996).

Dass kein genereller und stärkerer lateraler Driftgradient ausgebildet war, könnte an der Strömungsstruktur am Übergang von der flussaufwärts gelegenen Bucht zum anschließenden Schotterufer liegen. Die am Ausrinn der Bucht herrschende Transversalströmung spült die Larven und Juvenilen eventuell Richtung Flussmitte. Durch eine laterale Bewegung könnten sie aber, abhängig von ihrer Schwimmleistung und den herrschenden Strömungsverhältnissen, die Uferregionen früher (spätere Entwicklungsstadien) oder später (frühere Entwicklungsstadien) wieder erreichen. Hohe Driftdichten in uferfernen Bereichen am oberen Ende des Schotterufers und in Ufernähe am unteren Ende würden das Fehlen eines lateralen Gradienten bedingen.

Für ein besseres Verständnis der zugrunde liegenden Mechanismen einer lateralen Verteilung sollte bei zukünftigen Studien auch die Mitte des Hauptstromes beprobt werden. Die als zufällig zu beschreibende Verteilung der driftenden Fische entlang des Schotterufers beruht möglicherweise auf der geringen Variation der hydrophysikalischen Parameter im Untersuchungsgebiet. Bei einem Vergleich der Uferregion mit der Flussmitte würden sich die großen Unterschiede zahlreicher Faktoren (Strömung, Turbulenz, Geschiebetrieb, Trübe, verfügbare Laichhabitate, Temperatur) vielleicht eher in divergierenden Driftdichten äußern.

4.5 Zusammenhang zwischen Hydraulik und Körpergröße

4.5.1 Durchfluss

Im Falle einer passiven Drift bei erhöhtem Durchfluss aufgrund der veränderten Strömungs- und Sichtverhältnisse sollte man davon ausgehen, dass die Länge der Fische positiv mit der Wasserführung korreliert ist, da sich sowohl die Sehschärfe als auch die Schwimmleistung mit zunehmender Körpergröße verbessert (Garner 1999). In dieser und anderen Arbeiten (Rei-

chard 2004a) wurden diesbezüglich aber keine signifikanten Zusammenhänge festgestellt, was darauf hindeutet, dass die Drift eher das Resultat einer artspezifischen, zeitlich sensitiven, verhaltensgesteuerten Reaktion als ein Unfallereignis ist.

4.5.2 Strömung

Analoges gilt für die Fließgeschwindigkeit. Die kritischen Strömungsgeschwindigkeiten betragen bei Einsatz der exogenen Nahrungsaufnahme ein paar cm pro Sekunde, und nehmen mit der Fischgröße zu (Flore et al. 2001). Bei den vier dominanten Familien hatten die herrschenden Strömungsverhältnisse keinen Einfluss auf die Größenzusammensetzung der Drift, wie man es bei einer passiven Auswaschung der Individuen annehmen würde.

4.5.3 Uferentfernung

Die Driftstudien von Reichard et al. (2004b) am tschechischen Fluss Dyje ergaben eine signifikant negative Korrelation zwischen Uferentfernung und Körpergröße der gefangenen Jungfische. Die Autoren setzten in ihrer Diskussion auf einen passiven Erklärungsansatz, und bringen die gefundenen Zusammenhänge mit den physiologischen Eigenschaften unterschiedlicher Entwicklungsstadien in Verbindung. Die bessere Schwimmleistung älterer (und größerer) Larven und juveniler Fische ermögliche es ihnen demnach, sich weiter vom Ufer zu entfernen um dann in turbulente Bereiche zu geraten, wo die herrschende Fließgeschwindigkeit über der kritischen Strömungsgeschwindigkeit liegt.

In der Donau wurde, mit Ausnahme der Cottiden, für keine andere Familie ein größenabhängiger lateraler Driftgradient festgestellt. Es ist vorstellbar, dass mögliche Ursachen eines räumlichen Driftmusters wie Schwimmleistung, Habitatpräferenzen etc. von Faktoren wie der Strömungsstruktur und der Flussmorphologie überdeckt werden, die größenunabhängig wirksam sind.

Die signifikante Längenzunahme der driftenden Cottiden bei höheren Fließgeschwindigkeiten kann als weiteres Indiz für einen aktiven Drifteintritt dieser Familie gewertet werden, der von den herrschenden Strömungsverhältnissen ausgelöst wird. Größere Individuen treten eventuell bei höheren Fließgeschwindigkeiten in die Drift ein, da ein Navigieren mit den großen Brustflossen nach wie vor möglich ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass es sich um ein passives Driftmuster handelt, wobei die kleineren Individuen zuerst weggespült werden, hält der Autor aufgrund der bisherigen Resultate für gering.

5 Zusammenfassung

Die Jungfischdrift am untersuchten Schotterufer setzte Ende April ein, und zeigte einen eingipfeligen saisonalen Verlauf mit einer breiten Driftspitze von Anfang bis Mitte Juni bei Wassertemperaturen um 16,5 °C. Die dominanten Familien in der Drift waren Cyprinidae, Percidae, Cottidae und Gobiidae. Während Vertreter der Barschartigen vorwiegend als Juvenile gefangen wurden, drifteten die Karpfenartigen am häufigsten in den Stadien L1 und L3. Das kontinuierliche Auftreten junger Cyprinidenstadien während der gesamten Probennahme ergibt sich aus unterschiedlichen Temperaturansprüchen der zahlreichen Arten hinsichtlich ihrer Reproduktion.

Mit den erhobenen hydraulischen Parametern konnte nur ein geringer Teil der Variabilität in der Drift erklärt werden. Die abnehmenden Driftdichten bei zunehmender Strömung und ähnliche mittlere Fließgeschwindigkeiten, bei denen die einzelnen Perciden- und Cyprinidenstadien gefangen wurden, sprechen aber gegen einen passiven Driftmodus und zeigen die Präferenz der Jungfische für strömungsberuhigte Habitate. Eine erhöhte Wasserführung korrelierte positiv mit den Driftdichten der Cypriniden, Cottiden und der Stadien CL1 und CL3. Der Grund könnten verschlechterte Sichtbedingungen durch erhöhten Schwebstofftransport und ein Orientierungsverlust der Fische sein, wobei die hohen Abundanzen von CL1 und CL3 vielleicht von dem Zusammenfall der Umweltbedingungen mit einer generellen Anfälligkeit der Stadien, von der Strömung erfasst zu werden (aktive Elemente der passiven Drift), resultieren. Die höheren Abundanzen älterer Cyprinidenstadien im Seichten werden auf Räuber- und Ressourcenvermeidung zurückgeführt. Eine zunehmende Sohlschubspannung führte zu geringeren Driftdichten der Cottiden. Da die Koppen das Interstitial des Bachbettes besiedeln, nimmt der Autor an, dass eine Verlegung desselben bei hohen Sohlschubspannungen den Drifteintritt verhindert bzw. die Jungfische sich bei hohen Strömungen und Tauwerten aktiv im Sediment verstecken. Da die Gobiidendrift mit keinem Umweltfaktor korreliert war, handelt es sich eventuell um ein dichteabhängiges Phänomen am Laichplatz.

Die Umweltfaktoren hatten generell keine Auswirkung auf die Größe der driftenden Individuen. Die Tatsache, dass sich sowohl die Schwimmleistung als auch die optischen Eigenschaften der Fische mit zunehmender Körpergröße verbessern, spricht gegen einen passiven Drifteintritt. Drift dürfte vielmehr das Resultat einer zeitlich sensitiven, artspezifischen, verhaltensgesteuerten Reaktion sein. Eventuell wird der Effekt der erhobenen Faktoren aber von anderen Einflussgrößen überdeckt, die längenunabhängig wirksam sind.

Ein lateraler Driftgradient konnte am Schotterufer nicht festgestellt werden. Die driftenden Fische waren vielmehr gleichmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilt. Es wird ange-

nommen, dass vor allem die Strömungsstruktur am oberen Ende der Schotterbank für das räumliche Muster verantwortlich ist.

6 Abstract

The downstream drift of early developmental stages was investigated in a large European lowland river (Danube, Austria) to ascertain seasonal and spatial dynamics as well as the effects of environmental conditions on this mode of transport. Drift sampling began mid-April and continued at seven day intervals until end-June 2008. Samples were taken exclusively after dusk. The drift nets were conical shaped with an opening of 0.78 m². The nets were set at different distances from the shore along the river bank using a stratified random block design. I found a clear seasonal pattern with peak densities in mid-June what was strongly correlated with the increasing water temperatures. A total of 7 drifting families were recorded. The dominant families were Gobiidae (55.3%), Cyprinidae (39.9%), Percidae (3.3%) and Cottidae (1.3%). A stage dependent drifting was found for cyprinids (L1: 32.7%, L3: 23.8%) and percids (J1: 49.6%), what may be attributed to major changes in fish morphology and behaviour. Environmental variables influenced the drift dynamic to a small extent. Generally densities of drifting fishes were negatively correlated with current velocity and there was no significant relation between body size and current. Because the ability to resist the water current develops with size, these findings support the assumption, that drift is rather an active decision than a passive displacement. High Shear stress values coincided with low densities of drifting cottids. As individuals of this family perform a benthic lifestyle, this probably indicates that the fish get spilled in the sediment or hide in the interstitial when current and shear stress increase. Increasing drift densities during elevated river discharge as found for cottids and early cyprinid stages may due to a loss of visual orientation in turbid water. The high abundance of older cyprinids in shallow areas may be the result of diurnal habitat shifts triggered by food demands and predation risk. I did not find clear density- or size-related patterns in the lateral distribution of drifting fishes and assume that cross currents at the upper end of the gravel bank might be the reason for these results.

7 Literaturverzeichnis

- Balon, E. K. (1986). Salatory ontogeny and evolution. *Rivista di Biologia- Biology Forum* **79**, 151-190.
- Baras, E. & Nindaba, J. (1999). Diel dynamics of habitat use by riverine young-of-the-year *Barbus barbus* and *Chondrostoma nasus* (Cyprinidae). *Archiv für Hydrobiologie* **146**, 431-448.
- Baras, E., Philippart, J.C. (2005). Adaptive and evolutionary significance of a reproductive thermal threshold in *Barbus barbus*. *Journal of Fish Biology* **6**, 354-375.
- Bless, R. (1992). Zur Reproduktion des Schneiders-*Alburnoides bipunctatus* (Bloch)-unter Laborbedingungen. Abstract-Band des Fisch-Symposiums Ökologie, Ethologie und Systematik, 30.September bis 2.Oktober 1992 in Braunschweig.
- Brown, A. V. Armstrong, M. L. (1985). Propensity to Drift Downstream among Various Species of Fish. *Journal of Freshwater Ecology* **3**, 3-17.
- Copp, G. H. & Cellot, B. (1985). Drift of embryonic and larval fishes, especially *Lepomis gibbosus* (L.), in the Upper Rhone River. *Journal of Freshwater Ecology* **4**, 419-424.
- Copp, G. H. & Jurajda, P. (1993). Do small riverine fish move inshore at night? *Journal of Fish Biology* **43**, 229-241.
- Copp, G. H. & Kováč, V. (1996). When do fish with interect development become juveniles? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **53**, 746-752.
- Copp, G. H., Faulkner, H. (2002). Diel drift behaviour of fish eggs and larvae, in particular barbell, *Barbus barbus* (L.), in an English chalk stream. *Fisheries Management and Ecology* **9**, 95-103.
- Corbett, B. W., Powles, P. M. (1986). Spawning and Larva Drift of Sympatric Walleyes and White Suckers in an Ontario Stream. *Transactions of the American Fisheries Society* **115**, 41-46.
- Faulkner, H. & Copp, G. H. (2001). A model for accurate drift estimation in streams. *Freshwater Biology* **46**, 723-733.
- Flore, L., Keckeis, H. & Schiemer, F. (2001). Feeding, energetic benefit and swimming capabilities of 0+ nase (*Chondrostoma nasus*, L.) in flowing water: an integrative laboratory approach. *Arch. Hydrobiol. Suppl* **135/2-4**, 409-424.
- Gadomski, D. M. & Barfoot, C. A. (1998). Diel and distributional abundance patterns of fish embryos and larvae in the lower Columbia and Deschutes rivers. *Environmental Biology of Fishes* **51**, 353-368.
- Gale, W. F. & Mohr, H. W. J. (1986). Larval fish drift in a large river with a comparison of sampling methods. *Transactions of the American Fisheries Society* **107**, 46-55.

- Garner, P. (1996). Diel patterns in the feeding and habitat use of 0-group fishes in a regulated river: the River Great Ouse, England. *Ecology of Freshwater Fish* **5**, 175-182.
- Garner, P. (1999). Swimming ability and differential use of velocity patches by 0+ cyprinids. *Ecology of Freshwater Fish* **8**, 55-58.
- Goudin, P. (2001). Habitat shifts in juvenile riverine fishes. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* **135/2-4**, 393-408.
- Harvey, B. C. (1987). Susceptibility of Young-of-the-Year Fishes to Downstream Displacement by Flooding. *Transactions of the American Fisheries Society* **116**, 851-855.
- Hofer, K. & Kirchhofer, A. (1996). Drift, habitat choice and growth of the nase (*Chondrostoma nasus*, Cyprinidae) during early life stages. In *Conservation of Endangered Freshwater Fish in Europe* (Hofer, K. & Kirchhofer, A., eds), pp. 269-278. Bern and Basel: Birkhäuser Verlag Basel.
- Houde, E. D. (1968). Sustained swimming ability of larvae of walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*) and yellow perch (*Perca flavescens*). *J. Fish. Res. Board Can.* **26**, 1647-1659.
- Humphries, P. & Lake, P. S. (2000). Fish Larvae And The Managemant Of Regulated Rivers. *Regulated Rivers: Research & Management* **16**, 421-432.
- Humphries, P. (2005). Spawning time and early life history of Murray cod, *Maccullochella peelii peelii* (Mitchell) in an Australian river. *Environmental Biology of Fishes* **72**, 393-407.
- Iguchi, K. & Mizuno, N. (1991). Mechanism of embryonic drift in the amphidromous goby, *Rhinogobius brunneus*. *Environmental Biology of Fishes* **31**, 295-300.
- Johnston, T.A., Gaboury, M. N., Janusz, R. A., Janusz, L. R. (1995). Larval fish drift in the Valley River, Manitoba: influence of abiotic and biotic factors, and relationships with future year-class strengths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **52**, 2423-2431.
- Johnston, T.A. (1997). Downstream movements of young-of-the-year fishes in Catamaran Brook and the Little Southwest Miramichi River, New Brunswick. *Journal of Fish Biology* **51**, 1047-1062.
- Jurajda, P. (1998). Drift of larval and juvenile fishes, especially *Rhodeus sericeus* and *Rutilus rutilus*, in the River Morava (Danube basin). *Archiv für Hydrobiologie* **141**, 231-241.
- Kujawa, R., Kucharczyk, D. Mamcarz, A. (1999). A model system for keeping spawners of wild and domestic fish before artificial spawning. *Aquacultural Engineering* **20**, 85-89.
- Keckeis, H., Schiemer, F. (2002). Understanding Conservation Issues of the Danube River. In: *Fishery Science. The Unique Contributions of Early Life Stages.* (Fuiman, L. A. & Werner, R. G., eds.). Blackwell Publishing, pp.336.

- Keckeis, H. (2008). Naturversuch Bad Deutsch Altenburg. Zwischenbericht Premonitoring 2005 und 2006. Teil Abiotik.
- Liepol, R. (1967). Limnologie der Donau. Eine monographische Darstellung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Manteifel, B. P., Girs, I. I. & Pavlov, D. S. (1978). On rhythms of fish behaviour. In *Rhythmic Activity of Fishes* (Thorpe, J. E., ed.), pp.215-224. London: Academic Press.
- Matthews, W.J. (1986). Fish faunal structure in an Ozark stream: stability, persistence and a catastrophic flood. *Copeia* 1986, 388-397.
- McCune, B. & Grace, J. (2002). Analysis of Ecological Communities. MjM, Gleneden Beach, Oregon.
- Mion, J. B., Stein, R. A. & Marschall, E. A. (1998). River discharge drives survival of larval walleye. *Ecological Applications* **8**, 88-103.
- Moog, O., Chovanec, A., Hinteregger, H., Römer, A. (1999). Richtlinie für die saprobiologische Gewässergütebeurteilung von Fließgewässern. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- Moriyama A., Yanagisawa, Y., Mizuno, N. & Omoti, K. (1998). Starvation of drifting goby larvae due to retention of free embryos in upstream reaches. *Environmental Biology of Fish* **52**, 321-329.
- Oesmann, S. (2003). Vertical, lateral and diurnal patterns of fish larvae in a large lowland river, the Elbe. *Journal of Applied Ichthyology* **19**, 284-293.
- Pavlov, D. S., Sbikin, Yu. N. & Mochek, A. D. (1968). The effect of illumination in running water on the speed of fishes in relation to features of their orientation. *Journal of Ichthyology* **8**, 250-255.
- Pavlov, D.S., Pakhorukov, A. M., Kuragina, G. N., Nezdolij, V. K., Nekrasova, N. P., Brodskiy, D.A. & Ersler, A. L. (1978). Some features of the downstream migrations of juvenile fish in the Volga and Kuban rivers. *Journal of Ichthyology* **19**, 363-374.
- Pavlov, D.S. (1979). Biological Basis of the Control on Fish Behaviour in the Water Flow. Nauka, Moscow.
- Pavlov, D.S. (1994). The downstream migration of young fishes in rivers: Mechanisms and distribution. *Folia Zoologica* **43**, 193-208.
- Pavlov, D.S., Mikheev, V. N., Lupandin, A.I., Skorobogatov, M.A. (2008). Ecological and behavioural influences on juvenile fish migrations in regulated rivers: a review of experimental and field studies. *Hydrobiologia* **609**, 125-138.
- Penaz, M. (1974). Early development of the nase carp, *Chondrostoma nasus* (Linnaeus, 1758). *Zool.Listy* **23**, 275-288.

- Penaz, M., Roux, A. –L., Jurajda, P. & Olivier, J.-M. (1992). Drift of larval and juvenile fish in a by-passed floodplain of the Upper River Rhône, France. *Folia Zoologica* **41**, 281-288.
- Penaz, M. (2001). A general framework of fish ontogeny: a review of the ongoing debate. Drift. *Folia Zoologica* **50**, 241-256.
- Persat, H. & Olivier, J. M. (1995). The first displacements in the early stages of *Chondrostoma nasus* under experimental conditions. *Folia Zoologica* **44**, 43-50.
- Prokes, M. & Penaz, M. (1979). Reproduction and early development of the gudgeon, *Gobio gobio* II: Larval and juvenile periods. *Folia Zoologica* **28**, 55-64.
- Reckendorfer, W., Keckeis, H., Winkler, G. & Schiemer, F. (1996): *Chondrostoma nasus* as an indicator of river functioning: field and experimental studies at the university of Vienna. 2) Food availability for 0+ fish in the Danube: spatial and seasonal changes in plankton, benthos and drift. In: Abstracts of the Second International Symposium on the Biology of the Genus *Chondrostoma* Agassiz, 1835, Museum Alexander Koenig, Bonn, pp.25. (Freyhof, J. & Bischoff, A., eds.)
- Reichard, M., Jurajda, P. & Václavík, R. (2001). Drift of larval and juvenile fishes: a comparison between small and large adjacent lowland rivers. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* **135**, 373-389.
- Reichard, M., Jurajda, P., & Ondračková, M. (2002a). The effect of light intensity on the drift of young-of-the-year cyprinid fishes. *Journal of Fish Biology* **61**, 1063-1066.
- Reichard, M., Jurajda, P., & Ondračková, M. (2002b). Interannual variability in seasonal dynamics and species composition of drifting young-of-the-year fishes in two European lowland rivers. *Journal of Fish Biology* **60**, 87-101.
- Reichard, M., Jurajda, P. (2004a). The Effects of Elevated River Discharge on the Downstream Drift of Young-of-the-Year Cyprinid Fishes. *Journal of Freshwater Ecology* **19**, 465-471.
- Reichard, M., Jurajda, P. & Smith, C. (2004b). Spatial distribution of drifting cyprinid fishes in a shallow lowland river. *Archiv für Hydrobiologie* **159**, 395-407.
- Reichard, M., Jurajda, P. (2007). Seasonal dynamics and age structure of drifting cyprinid fishes: an interspecific comparison. *Ecology of Freshwater Fish* **16**, 482-492.
- Robinson, A. T., Clarkson, R. W. & Forrest, R. E. (1998). Dispersal of Larval Fishes in a Regulated River Tributary. *Transactions of the American Fisheries Society* **127**, 772-786.
- Schiemer, F. & Spindler, T. (1989). Endangered Fish Species Of The Danube River in Austria. *Regulated Rivers: Research & Management* **4**, 397-407.
- Schiemer, F., Spindler, T., Wintersberger, H., Schneider, A. Chovanec, A. (1991). Fish fry associations: Important indicators for the ecological status of large rivers. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **24**, 2497-2500.

- Schiemer, F. (1999). Conservation of biodiversity in floodplain rivers. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* **115/3**, 423-438.
- Schiemer, F., Keckeis, H., Winkler, G. & Flore, L. (2001). Large rivers: the ecotonal structure and hydrological properties for the fish fauna. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* **135**, 487-508.
- Schiemer, F. & Waidbacher, H. (2001). Zur Ökologie großer Fließgewässer am Beispiel der Fischfauna der österreichischen Donau. Katalog des OÖ. Landesmuseums N. F. 126, 7-22.
- Schiemer, F., Keckeis, H., Kamler, E. (2003). The early life history stages of riverine fish: ecophysiological and environmental bottlenecks. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* **133**, 439-449.
- Schlosser, I. (1987). The role of predation in age- and size-related habitat use by stream fishes. *Ecology* **68**, 651-659.
- Schmutz, S., Jungwirth, M. (1999). Fish as indicators of large river connectivity: the Danube and its tributaries. *Archiv für Hydrobiologie* **115**, 329-348.
- Tritthart, M. & Gutknecht, D. (2007). Three-dimensional Simulation of Free-Surface Flows using Polyhedral Finite Volumes. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, **1**, 1-14.
- Webb, P. W. (1975). Hydrodynamics and energetics of fish propulsion. *Fisheries Research Board of Canada. Bulletin* **190**.
- Winkler, G., Keckeis, H., Reckendorfer, W. & Schiemer, F. (1997). Temporal and spatial dynamics of 0+ *Chondrostoma nasus* abundance at the inshore zone of a large river. *Folia Zoologica* **46**, 133-150.
- Zitek, A., Schmutz, S., Unfer, G., Ploner, A. (2004a). Fish drift in a Danube sidearm-system: I. Site-, inter- and intraspecific patterns. *Journal of Fish Biology* **65**, 1319-1338.
- Zbinden, S., Pilotto, J. -D. & Durouvenoz, V. (2004). Biologie, Gefährdung und Schutz der Groppe (*Cottus gobio*) in der Schweiz. *Mitteilungen zur Fischerei* **77**. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- Zitek, A., Schmutz, S., Unfer, G., Ploner, A. (2004a). Fish drift in a Danube sidearm-system: I. Site-, inter- and intraspecific patterns. *Journal of Fish Biology* **65**, 1319-1338.
- Zitek, A., Schmutz, S., Unfer, G., Ploner, A. (2004b). Fish drift in a Danube sidearm-system: II. Seasonal and diurnal patterns. *Journal of Fish Biology* **65**, 1339-1357.

8 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abbildung 1: Probennahme bei erhöhtem Wasserstand mit dem Gastprofessor Paul Humphries (Charles Sturt University, Albury, Australia).....	8
Abbildung 2: Oberes Ende des Schotterufers (links) und Totalansicht (rechts).....	10
Abbildung 3: Orthophoto des Schotterufers. Die Positionen der Driftnetze wurden je nach Region, in der sie lagen, unterschiedlich gefärbt.....	12
Abbildung 4: Driftnetz am Ufer (links) und während der Probennahme an Stahlstange fixiert (rechts).....	13
Abbildung 5: Sämtliche in der Drift vertretene Familien mit den wichtigsten Bestimmungsmerkmalen. Der stark beschädigte Vertreter der Gasterosteiden ist nicht abgebildet.....	16
Abbildung 6: Die sechs larvalen und zwei juvenilen Stadien der Cypriniden mit Anführung der wichtigsten morphologischen Merkmale nach Penaz (2001). Junge Stadien sind stärker vergrößert dargestellt als ältere.....	18
Abbildung 8: Darstellung der Verteilung von Fängen (schwarz) und Nullfängen (grau)..	21
Abbildung 9: Tages- und Langzeitmittel des Durchflusses (Messstation Hainburg) über den Probezeitraum und an den einzelnen Probeterminen.....	23
Abbildung 10: Anstieg der Wassertemperatur im Untersuchungszeitraum (links) und Abnahme bei zunehmendem Durchfluss (rechts).....	24
Abbildung 11: Berechnete Strömungswerte vom Durchflussmesser mit Rückstauereffekt der Netze (links), und Modellströmung (rechts).....	25
Abbildung 12: Schematische Flächendarstellung der interpolierten Tiefen- und Strömungswerte des gesamten Untersuchungszeitraumes	26
Abbildung 13: Prozentueller Anteil der vier dominanten Familien am Gesamtfang.....	28
Abbildung 14: Prozentueller Anteil der einzelnen Entwicklungsstadien am Gesamtfang..	28
Abbildung 15: Relativer prozentueller Anteil der Cypriniden-, und Percidenstadien am Gesamtfang der jeweiligen Familie.....	28
Abbildung 16: Driftdichten der vier dominanten Familien mit Darstellung des Medians und der 25% bzw. 75% Quartile.....	30
Abbildung 17: Driftdichten von 8 Entwicklungsstadien der Cypriniden (oben) und 6 Entwicklungsstadien der Perciden (unten).....	30
Abbildung 18: Prozentuelle Verteilung der Größenklassen (in mm SL) bei den dominanten Familien in der Drift: Cyprinidae, Percidae, Gobiidae, Cottidae.....	31
Abbildung 19: Zunahme der mittleren Standardlänge in der Ontogenie bei Perciden und Cypriniden.....	32
Abbildung 20: Längenfrequenzanalyse für sämtliche Entwicklungsstadien der Cypriniden und Perciden. Keine Längenmessung bei PL5 möglich.....	33
Abbildung 21: Saisonaler Verlauf der Jungfischdrift aller Individuen und einzelner Familien. Angegeben werden die mittleren Driftdichten und ein Streuungsmaß.....	34

Abbildung 22: Prozentueller Anteil der Familien an der Gesamtdrift der einzelnen Pro- betetermine.....	35
Abbildung 23: Saisonaler Verlauf der Drift für die Entwicklungsstadien der Cypriniden..	37
Abbildung 24: Saisonaler Verlauf der Drift für die Entwicklungsstadien der Perciden.....	38
Abbildung 25: Zusammenhang zwischen mittleren Driftdichten der vier dominanten Familien und zunehmender Wassertemperatur im saisonalen Verlauf.....	39
Abbildung 26: Zusammenhang zwischen den mittleren Driftdichten der Cypriniden- entwicklungsstadien und der Wassertemperatur.....	40
Abbildung 27: Zusammenhang zwischen den mittleren Driftdichten der Perciden- ent- wicklungsstadien und der Wassertemperatur.....	41
Abbildung 28: Zusammenhang zwischen Driftdichte und Durchfluss unabhängig von saisonalen Effekten.....	42
Abbildung 29: Driftdynamik der vier Familien bei zunehmendem Durchfluss.	43
Abbildung 30: Driftdynamik der Cyprinidenentwicklungsstadien bei zunehmendem Durchfluss.....	43
Abbildung 31: Variabilität der Driftdichte in Abhängigkeit der Wassertiefe für die un- terschiedlichen Familien.....	44
Abbildung 32: Variabilität der Driftdichte in Abhängigkeit von der Wassertiefe für ein- zelne Entwicklungsstadien der Cypriniden.....	45
Abbildung 33: Variabilität der Driftdichte in Abhängigkeit von der Wassertiefe für 3 Entwicklungsstadien der Perciden.....	45
Abbildung 34: Abhängigkeit der Jungfischdrift von den herrschenden Strömungsver- hältnissen. Percidae und Cottidae.....	46
Abbildung 35: Modelldarstellung der Strömungsverhältnisse am Schotterufer mit Position und Driftdichte für sämtliche gesetzten Netze.....	47
Abbildung 36: Position und Dichte der driftenden Cottiden im modellierten Strömungsgradienten. Auch dargestellt: Rechennetz aus Hexagonen.....	48
Abbildung 37: Position und Dichte der driftenden Perciden im modellierten Strömungsgradienten.....	49
Abbildung 38: Driftdichten der Familien in Abhängigkeit von der Uferentfernung. Cyprinidae.....	50
Abbildung 39: Driftdichten von zwei Entwicklungsstadien der Cypriniden in Abhängig- keit von der Uferentfernung.....	51
Abbildung 40: Driftdichten von drei Entwicklungsstadien der Perciden in Abhängigkeit von der Uferentfernung.....	51
Abbildung 41: Abhängigkeit der Driftdichte von der Sohlschubspannung bei den Cotti- den.....	52
Abbildung 42: Sohlschubspannungsgradient mit Dichte und Position driftender Cotti- den.....	52
Abbildung 43: Größenzusammensetzung der Fische in mm SL bei unterschiedlichen Durchflüssen.....	55

Abbildung 44: Größenzusammensetzung der Fische in mm SL bei unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten.....	56
Abbildung 45: Größenzusammensetzung der Fische in mm SL bei unterschiedlichen Uferentfernungen. Cottidae.....	57
Abbildung 46: Transformierte Werte der Gesamtdrift über den Untersuchungszeitraum mit Darstellung der saisonalen Komponente.....	79
Abbildung 47: Saisonale Komponente der Familiendrift über den Untersuchungszeitraum.....	79
Abbildung 48: Saisonale Komponente der Drift für die Entwicklungsstadien der Cyprinidae.....	80
Abbildung 49: Saisonale Komponente der Drift für die Entwicklungsstadien der Percidae.....	81

Tabellen

Tabelle 1: Durchfluss, Probenanzahl und Probezeitraum aller Probetermine.....	14
Tabelle 2: Tagesmittel des Durchflusses und der Wassertemperatur an den Probetermine.....	24
Tabelle 3: Mittlere Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen an den einzelnen Probetermine.....	27
Tabelle 4: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die abiotischen Faktoren (Durchfluss, Strömung, Tau, Tiefe: n=210; Uferentfernung: n=130).	27
Tabelle 5: Duncan-Test auf homogene Untergruppen für die Entwicklungsstadien der Cypriniden. Faktor: Driftdichte.....	29
Tabelle 6: Lineare Regression 1. Abhängige Variable: Driftdichte Cyprinidae $p < 0,001$, $r^2 = 0,13$	53
Tabelle 7: Lineare Regression 2. Abhängige Variable: Driftdichte CL3. $p < 0,001$, $r^2 = 0,13$	53
Tabelle 8: Lineare Regression 3. Abhängige Variable: Driftdichte Cottidae. $p < 0,001$, $r^2 = 0,19$	53
Tabelle 9: Cyprinidenarten der österreichischen Donau mit Angabe der Laichperiode.....	58
Tabelle 10: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Strömungsgeschwindigkeit zu Driftdichte der Familien.....	82
Tabelle 11: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen für die Korrelation von Strömung zu den Driftdichten der Cyprinidenstadien.....	82
Tabelle 12: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen für die Korrelation von Strömung zu den Driftdichten der Percidenstadien.....	82
Tabelle 13: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Durchfluss zu Driftdichte.....	83
Tabelle 14: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Durchfluss zu den Driftdichten der Cyprinidenstadien.....	83
Tabelle 15: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen für die Korrelation von Drift zu den Driftdichten der Cyprinidenstadien.....	83

relation von Durchfluss zu den Driftdichten der Percidenstadien.....	83
Tabelle 16: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Wassertiefe zu Driftdichte.....	84
Tabelle 17: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Wassertiefe zu den Driftdichten der Cyprinidenstadien.....	84
Tabelle 18: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Wassertiefe zu den Driftdichten der Percidenstadien.....	84
Tabelle 19: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Uferentfernung zu Driftdichte.....	85
Tabelle 20: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Uferentfernung zu den Driftdichten der Cyprinidenstadien.....	85
Tabelle 21: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Uferentfernung zu den Driftdichten der Percidenstadien.....	85
Tabelle 22: Protokollblatt für die Datenaufnahme im Freiland.....	86
Tabelle 23: Anzahl, mittlere Driftdichte, mittlere Standardlänge, und mittlere Fließgeschwindigkeit der Familien und sämtlicher Stadien.....	87

9 Anhang

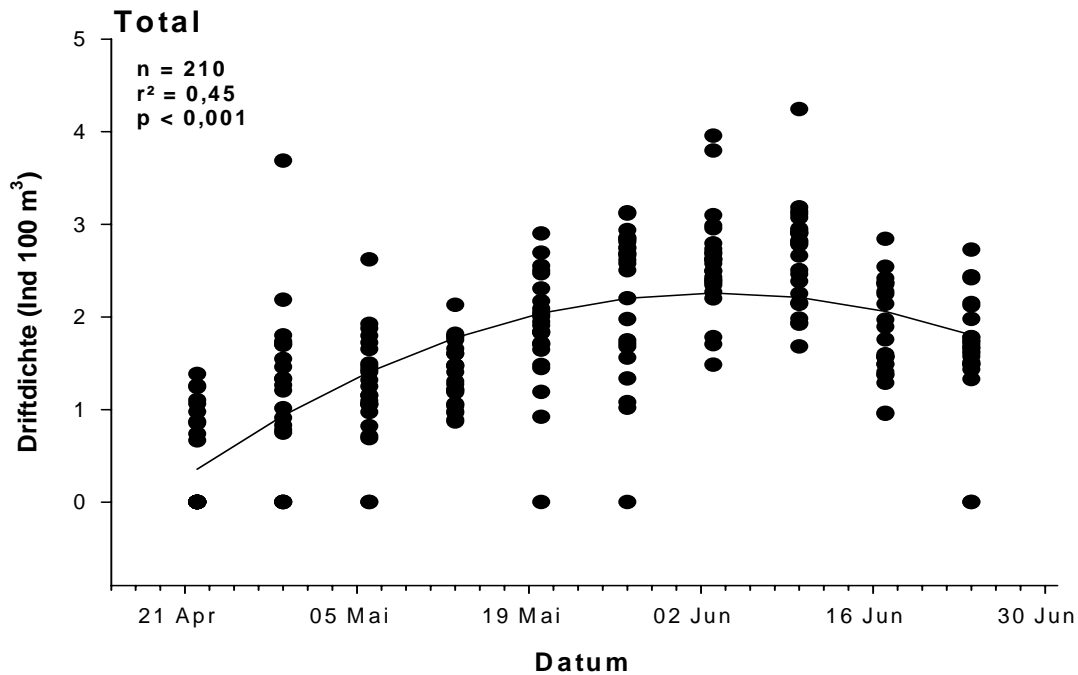


Abbildung 46: Transformierte Werte der Gesamtdrift über den Untersuchungszeitraum mit Darstellung der saisonalen Komponente. $f = Y_0 + ax + bx^2$ ($Y_0 = 0,26 \pm 0,11$, $a = 0,09 \pm 0,008$, $b = -0,001 \pm 0,0001$).

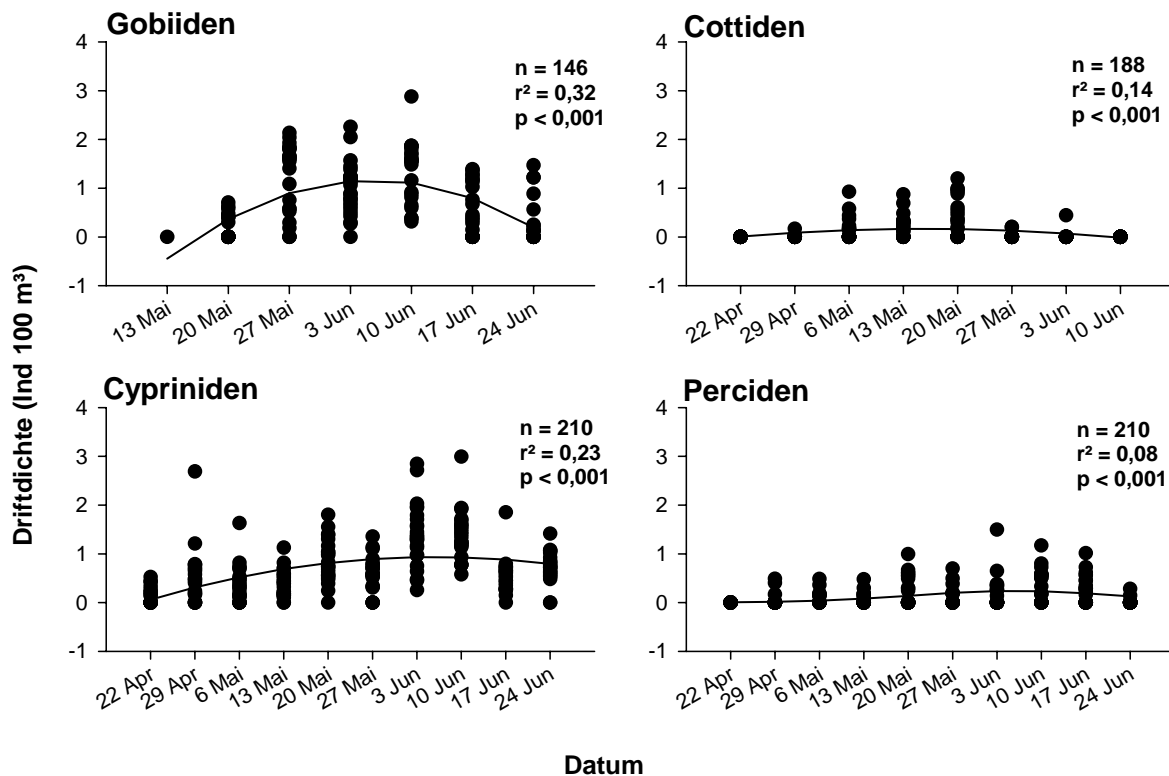


Abbildung 47: Saisonale Komponente der Familiendrift über den Untersuchungszeitraum. Alle: $f = Y_0 + ax + bx^2$. Gobiidae ($a = 228,31 \pm 30,27$, $b = -0,003 \pm 0,0004$), Cottidae ($a = 22,12 \pm 5,3$, $b = -0,0003 \pm 6,7 \text{ E-}005$), Cyprinidae ($a = -34,31 \pm 7,47$, $b = -0,0004 \pm 9,4 \text{ E-}005$), Percidae ($a = 10,5 \pm 3,37$, $b = -0,0001 \pm 4,25 \text{ E-}005$).

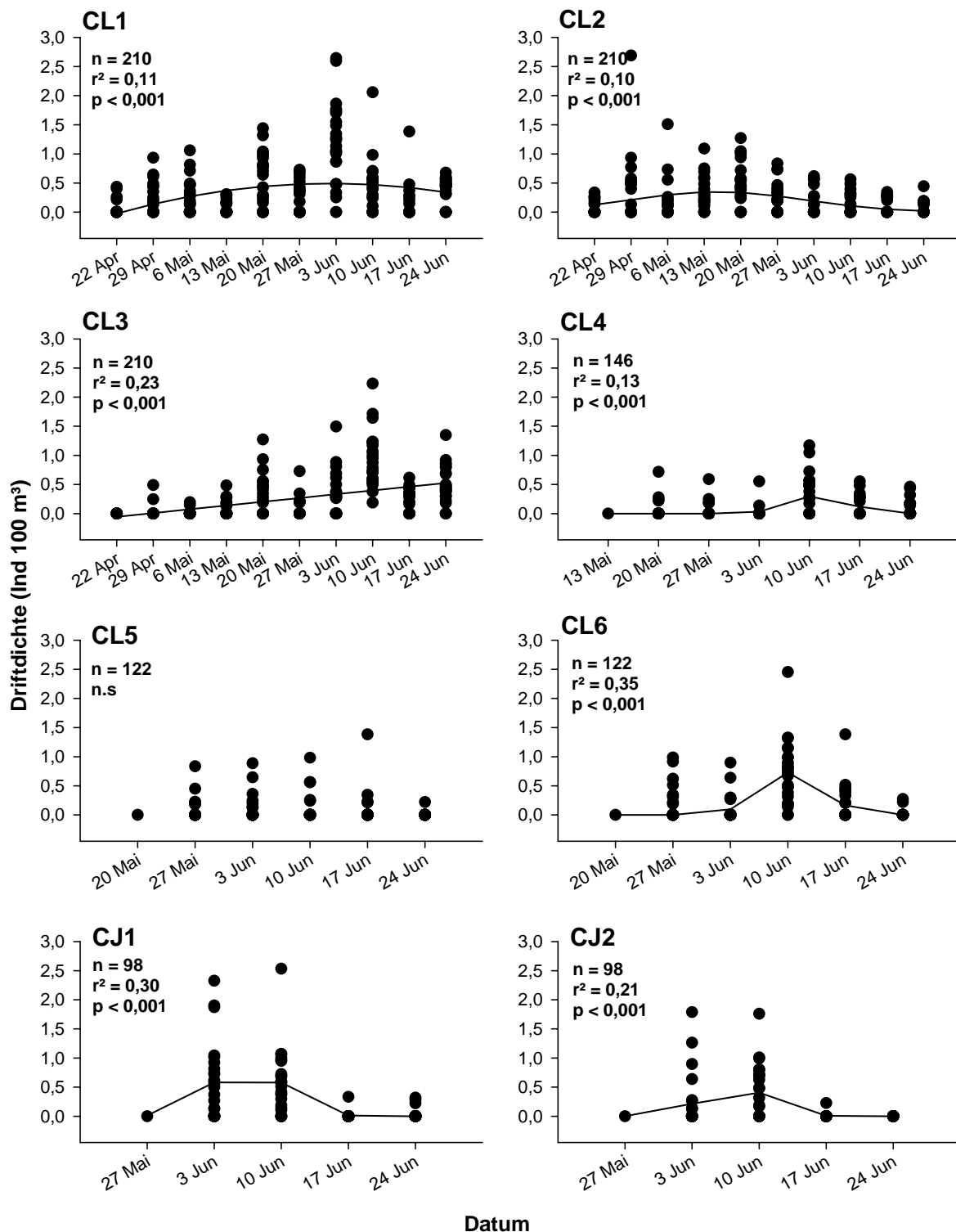


Abbildung 48: Saisonale Komponente der Drift für die Entwicklungsstadien der Cyprinidae. Alle: $f = ae^{[-0,5(x-x_0/b)^2]}$ außer CL1: $f = Y_0 + ax + bx^2$. CL1 ($a = 24,43 \pm 6,49$, $b = -0,0003 \pm 8,2E-005$), CL2 ($a = 0,35 \pm 0,04$, $b = 16,45 \pm 2,31$), CL3 ($a = -0,02 \pm 4,84$, $b = 4,41E-0,007 \pm 6,12E-005$), CL4 ($a = 0,31 \pm 0,05$, $b = 3,96 \pm 0,81$), CL6 ($a = 0,73 \pm 0,07$, $b = 3,74 \pm 0,45$), CJ1 ($a = 0,92 \pm 0,75$, $b = 3,6 \pm 3,09$), CJ2 ($a = 0,53 \pm 0,43$, $b = 3,33 \pm 2,66$).

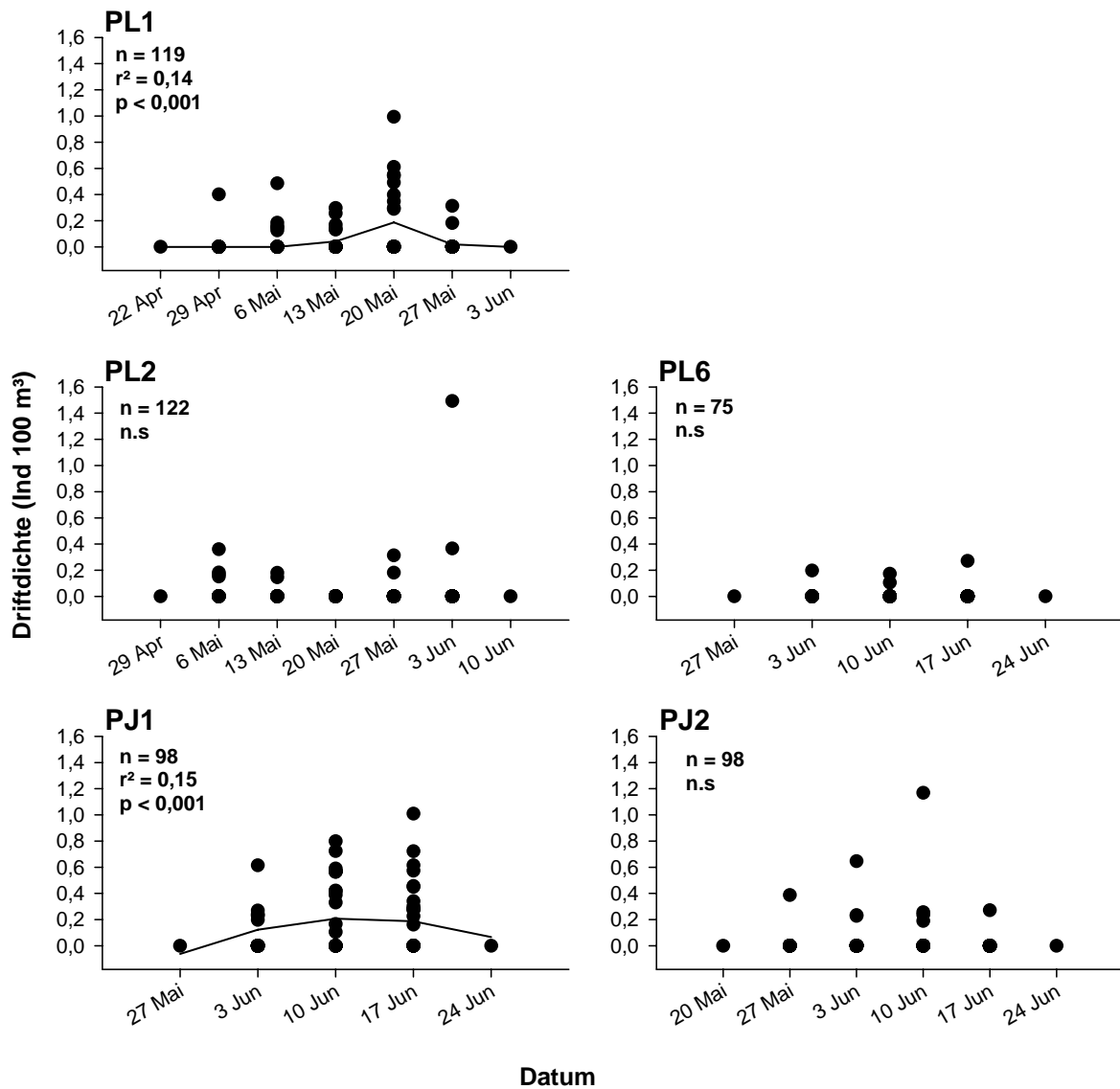


Abbildung 49: Saisonale Komponente der Drift für die Entwicklungsstadien der Percidae.
 PL1: $f = ae^{[-0,5(x-x_0/b)^2]}$ ($a = 0,19 \pm 0,03$, $b = 3,64 \pm 0,81$), PJ1: $f = Y_0 + ax + bx^2$ ($a = 82,07 \pm 36,15$, $b = -0,001 \pm 0,0005$).

Tabelle 10: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Strömungsgeschwindigkeit zu Driftdichte der Familien.

	N	Strömung	
Gobiiden	94	r	-0,115
		p	0,268
Cottiden	36	r	-0,550
		p	0,001
Cypriniden	210	r	-0,119
		p	0,087
Perciden	72	r	-0,409
		p	0,000

Tabelle 11: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen für die Korrelation von Strömung zu den Driftdichten der Cyprinidenstadien.

	N	Strömung	
CL1	115	r	-0,133
		p	0,155
CL2	103	r	-0,203
		p	0,040
CL3	92	r	0,043
		p	0,686
CL4	37	r	0,166
		p	0,326
CL5	21	r	-0,170
		p	0,461
CL6	39	r	-0,257
		p	0,114
CJ1	35	r	-0,266
		p	0,123
CJ2	19	r	-0,337
		p	0,158

Tabelle 12: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen für die Korrelation von Strömung zu den Driftdichten der Percidenstadien.

	N	Strömung	
PL1	21	r	-0,509
		p	0,018
PL2	9	r	-0,330
		p	0,932
PL4	4	r	-0,800
		p	0,200
PL6	4	r	-0,800
		p	0,200
PJ1	32	r	-0,330
		p	0,856
PJ2	9	r	-0,400
		p	0,286

Tabelle 13: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Durchfluss zu Driftdichte.

	Durchfluss	
Residuen_tot	r	0,209
	p	0,004
Gobiiden	r	-0,110
	p	0,289
Cottiden	r	0,351
	p	0,036
Cypriniden	r	0,363
	p	0,000
Perciden	r	0,170
	p	0,155

Tabelle 14: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Durchfluss zu den Driftdichten der Cyprinidenstadien.

n=236	Durchfluss	
CL1	r	0,107
	p	0,255
CL2	r	0,138
	p	0,165
CL3	r	0,565
	p	0,000
CL4	r	0,116
	p	0,492
CL5	r	0,202
	p	0,381
CL6	r	-0,528
	p	0,001
CJ1	r	-0,168
	p	0,335
CJ2	r	0,037
	p	0,880

Tabelle 15: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen für die Korrelation von Durchfluss zu den Driftdichten der Percidenstadien.

n=236	Durchfluss	
PL1	r	0,339
	p	0,133
PL2	r	0,685
	p	0,042
PJ1	r	0,057
	p	0,757
PJ2	r	-0,186

Tabelle 16: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Wassertiefe zu Driftdichte.

	N		Tiefe
Gobiiden	94	r	0,018
		p	0,860
Cottiden	36	r	-0,418
		p	0,011
Cypriniden	210	r	0,035
		p	0,613
Perciden	72	r	-0,323
		p	0,006

Tabelle 17: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Wassertiefe zu den Driftdichten der Cyprinidenstadien.

	N		Tiefe
CL1	115	r	-0,110
		p	0,242
CL2	103	r	-0,192
		p	0,052
CL3	92	r	-0,470
		p	0,658
CL4	37	r	0,166
		p	0,326
CL5	21	r	-0,643
		p	0,002
CL6	39	r	-0,468
		p	0,003
CJ1	35	r	-0,231
		p	0,182
CJ2	19	r	-0,622
		p	0,004

Tabelle 18: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Wassertiefe zu den Driftdichten der Percidenstadien.

	N		Tiefe
PL1	21	r	-0,606
		p	0,004
PL2	9	r	0,059
		p	0,881
PL4	4	r	-0,400
		p	0,600
PL6	4	r	-0,234
		p	0,200
PJ1	32	r	-0,299
		p	0,096
PJ2	9	r	-0,417
		p	0,265

Tabelle 19: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Uferentfernung zu Driftdichte.

	N	Uferentfernung	
Gobiiden	53	r	-0,152
		p	0,278
Cottiden	31	r	-0,373
		p	0,039
Cypriniden	117	r	-0,363
		p	0,000
Perciden	54	r	-0,223
		p	0,106

Tabelle 20: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Uferentfernung zu den Driftdichten der Cyprinidenstadien.

	N	Uferentfernung	
CL1	66	r	-0,401
		p	0,001
CL2	71	r	-0,270
		p	0,023
CL3	52	r	-0,164
		p	0,245
CL4	22	r	0,102
		p	0,651
CL5	12	r	0,098
		p	0,762
CL6	28	r	-0,058
		p	0,769
CJ1	16	r	-0,500
		p	0,049
CJ2	10	r	0,745
		p	0,013

Tabelle 21: Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten (r) und Signifikanzen (p) für die Korrelation von Uferentfernung zu den Driftdichten der Percidenstadien.

	N	Uferentfernung	
PL1	18	r	-0,360
		p	0,142
PL2	8	r	-0,738
		p	0,037
PJ1	23	r	-0,067
		p	0,761
PJ2	4	r	-0,200

Tabelle 22: Protokollblatt für die Datenaufnahme im Freiland.

Drift sampling Donau April-June 2008										
Site	Sample #	Mesh size	Time set	Time pull	Flow meter set	Flow meter pull	Water depth	Net depth	Current speed	GPS
Date										
Region 1 (upstream)	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
Region 2	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
Region 3	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									

Tabelle 23: Anzahl, mittlere Driftdichte, mittlere Standardlänge, und mittlere Fließgeschwindigkeit der Familien und sämtlicher Stadien.

Familie/Stadium	Anzahl (n)	Mittlere Driftdichte (Ind/100 m ³)	Min	Max	Mittlere SL (mm)	Min	Max	Mittlere Strömung (m/s)
Gobiidae	2895	0,72 ± 0,65	0	2,13	6,84 ± 0,70	4,6	14,6	0,84 ± 0,23
Cottidae	72	0,09 ± 0,18	0	0,97	6,72 ± 2,24	4	19,2	0,81 ± 0,21
Cyprinidae	2093	0,62 ± 0,45	0	2,03	11,13 ± 3,82	4,7	24,9	0,82 ± 0,21
Percidae	174	0,14 ± 0,22	0	1,16	15,81 ± 7,71	4,6	43,5	0,84 ± 0,24
CE9	12	0,03 ± 0,10	0	0,47	6,37 ± 1,44	5,1	10,2	0,79 ± 0,28
CL1	676	0,28 ± 0,36	0	1,86	7,90 ± 1,36	4,7	14,9	0,82 ± 0,22
CL2	227	0,18 ± 0,23	0	1,09	9,76 ± 1,64	6,2	13,1	0,82 ± 0,19
CL3	492	0,24 ± 0,32	0	1,34	12,15 ± 1,04	8,8	14,1	0,77 ± 0,25
CL4	92	0,07 ± 0,17	0	1,16	11,59 ± 1,88	6,1	17	0,79 ± 0,30
CL5	44	0,03 ± 0,11	0	0,83	13,73 ± 2,01	8,8	18,7	0,84 ± 0,26
CL6	206	0,18 ± 0,31	0	1,31	14,40 ± 1,91	8	18,7	0,87 ± 0,24
CJ1	246	0,23 ± 0,37	0	1,9	17,49 ± 2,27	11,2	24,9	0,88 ± 0,26
CJ2	99	0,16 ± 0,31	0	1,26	19,79 ± 3,01	8,7	24,8	0,87 ± 0,30
PE9	1	0,02 ± 0,10	0	0,48	k.A	k.A	k.A	k.A
PL1	29	0,06 ± 0,14	0	0,61	7,30 ± 1,43	4,9	11,5	0,78 ± 0,25
PL2	12	0,02 ± 0,07	0	0,36	9,64 ± 0,71	8,7	10,8	0,94 ± 0,14
PL3	1	0,007 ± 0,02	0	0,1	k.A	k.A	k.A	k.A
PL4	4	0,008 ± 0,04	0	0,28	11,80 ± 1,25	10,8	13,2	0,88 ± 0,17
PL5	1	0,008 ± 0,03	0	0,18	k.A	k.A	k.A	k.A
PL6	5	0,01 ± 0,05	0	0,27	16,75 ± 1,45	15,2	18,5	1,05 ± 0,19
PJ1	93	0,14 ± 0,23	0	1,01	18,72 ± 3,34	11,7	27,3	0,83 ± 0,26
PJ2	23	0,04 ± 0,15	0	1,16	30,91 ± 6,68	20,1	43,5	0,79 ± 0,25

LEBENS LAUF

■ Persönliche Daten

Name:	Aaron Lechner
Geburtstag:	02.03.1984 Graz
Anschrift:	Mahrenberggasse 2, 8020 Graz
	Tel.: 0 699 / 10746932
	e-mail: aaron1984@gmx.net

■ Ausbildung

2008 – 2009	Diplomarbeit
2003 – 2009	Diplomstudium Biologie/ Studienzweig Ökologie
1994 – 2002	RG Modellschule Graz
1990 – 1994	Projektschule Rheintal

■ Sprachkenntnisse

Deutsch	Muttersprache
Englisch	Wort und Schrift
Französisch	Grundkenntnisse

■ Sonstige Qualifikationen

Absolvierung des Elektrofischereikurses
GIS-Kenntnisse
Tauchschein
EDV und Statistik Kenntnisse